Untersuchungen am Grauen Salzton der Grube „Königshall-Hindenburg" Reyershausen bei Göttingen

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades der
Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der
Georg-August-Universität zu Göttingen

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Vorgelegt von
Hans Niemann
aus Einswarden i. O.

Göttingen 1959

D 7

Referent: Prof. Dr. Correns

Korreferent: Prof. Dr. Bederke

Tag der mündlichen Prüfung: 20. November 1959

Sonderdruck aus:

„Beiträge zur Mineralogie und Petrographie",

Band 7, 1960

Beiträge zur Mineralogie und Petrographie 7, 137—165 (1960)

Aus dem Sedimentpetrographischen Institut der Universität Göttingen

Untersuchungen am Grauen Salzton der Grube „Königshall-Hindenburg", Reyershausen bei Göttingen

Von

HANS NIEMANN

Mit 7 Textabbildungen

(Eingegangen am 3. Februar 1960)

Inhaltsübersicht

Seite

Einleitung 137
Stratigraphie 138
Probennahme 138
Röntgenographische Untersuchung der unaufbereiteten Proben 139
Aufbereitung der Proben; Sieb- und Schlämmanalyse 140
Röntgenographische Untersuchung der aufbereiteten Proben 143
1. Röntgenaufnahmen nach dem Texturverfahren nach JASMUND 143
2. Röntgenaufnahmen mit der Guinier-Kamera nach v. WOLFF 146
3. Quantitative Berechnungen an den qualitativ ausgewerteten Röntgendiagrammen 147
4. Die Aggregate der Siebfraktionen 148
Differentialthermoanalyse 148
Chemische Untersuchung 149
1. Wasserlösliche und in 0,2 n HCl lösliche Bestandteile 150
2. Wasserunlösliche und in 0,2 n HCl unlösliche Bestandteile. 151
Mikroskopische Untersuchung 158
Diskussion der Untersuchungsergebnisse 161
Zusammenfassung 163
Literatur 164

Einleitung

Salztone sind Gesteine, die in den Salzlagerstätten vorkommen. Sie haben sich besonders in zwei Schichten mit wechselnder Mächtigkeit in den Salzlagern der Zechsteinzeit gebildet, die uns als der Graue Salzton, T 3, und der Rote Salzton, T 4, bekannt sind.

Im Jahre 1938 veröffentlichte KÜHN[31] eine Arbeit über den Mineralgehalt der Salztone. Diese war eine Fortsetzung und Erweiterung der Untersuchungen von PRECHT[37], REIDEMEISTER[38], MARCUS und BILTZ[35, 36], die sich in der Hauptsache mit der chemischen Zusammensetzung der Salztone befaßten. KÜHN bearbeitete erstmalig die Salztone mit sedimentpetrographischen Methoden, die über die mineralogische Zusammensetzung dieses Gesteins weitaus besser Auskunft geben als es chemische Analysen allein tun können. Die von ihm untersuchten Proben entstammen hauptsächlich dem Grauen und Roten Salzton verschiedener Vorkommen in Norddeutschland (Hansa-Silberberg bei Hannover und Glückauf bei Sondershausen). KÜHN ging von dem Gedanken aus, das in den feinen Fraktionen der Salztone vorkommende Tonmineral zu finden.

Ziel der vorliegenden Arbeit, die im Jahre 1957 begonnen wurde, war es, den Mineralbestand des Grauen Salztons *einer* Salzlagerstätte qualitativ und quantitativ zu bestimmen, unter besonderer Berücksichtigung der feinsten

unlöslichen Korngrößenfraktionen dieses Gesteins und des Chemismus der Tonminerale. Da die Salztone einen hohen Elektrolytgehalt haben, stellt die Aufbereitung der Proben für die sedimentpetrographische Untersuchung eine besondere Aufgabe dar.

Die Proben entstammen dem Kalisalzbergwerk *„Königshall-Hindenburg"* der Burbach-Kaliwerke in Reyershausen, 10 km nördlich Göttingen.

Stratigraphie

Über die Stratigraphie des Salzgebirges in der Grube „Königshall-Hindenburg" kann auf die ausführliche Arbeit von HENTSCHEL[24] verwiesen werden. Einen kurzen Überblick über die Schichtenfolge gibt die Tabelle 1. Die Symbole für die einzelnen Schichten entsprechen der neuen Bezeichnung von RICHTER-BERNBURG[39].

Tabelle 1. *Zechsteingliederung* (Ausbildung in „Königshall-Hindenburg" nach HENTSCHEL)

	Letten	(nicht zugänglich)
Na 4	Jüngstes Steinsalz	(nicht zugänglich)
A 4	Pegmatit-Anhydrit	(nicht zugänglich)
T 4	Roter Salzton	
Na 3	Jüngeres Steinsalz	
A 3	Hauptanhydrit	
T 3	Grauer Salzton	
K 2	Flöz Staßfurt	
Na 2	Älteres Steinsalz	
A 2	Basalanhydrit	(nicht zugänglich)
Ca 2d	Hauptdolomit	(nicht zugänglich)

Wie aus der Übersicht zu ersehen ist, bildet der Graue Salzton das Hangende des Flöz Staßfurt. In „Königshall-Hindenburg" zeigt er eine Dreiteilung mit einer durchschnittlichen Gesamtmächtigkeit von 30 m. Unmittelbar auf das Kalilager folgt der *anhydritische Liegendteil* des Grauen Salztons, T 3a, mit einer Mächtigkeit von 4—5 m. Er besteht aus grauen und braunen Tonschichten, die mit zahlreichen Bänken von durchschnittlich 5—10 cm Mächtigkeit aus Steinsalz und Anhydrit wechsellagern. Außerdem durchziehen zahlreiche feine Risse und Klüfte, die mit Steinsalz und Anhydrit ausgefüllt sind und in denen auch Carnallit und Tachhydrit vorkommen können (s. chemische Analysen) den gesamten Grauen Salzton. Unmittelbar über dem Kalilager zeigt der Ton in den beobachteten Aufschlüssen Trümmerstruktur, die aber schon in 1 m Entfernung von der Lagergrenze deutlich abnimmt und schließlich ganz verschwindet. Zum Hangenden geht der anhydritische Liegendteil in ein graublaues Tongestein über. Dickere Steinsalz- und Anhydritbänke sind oberhalb der Anhydritleitbank, 2,6 m im Hangenden des K 2, nicht mehr vorhanden. Auf den anhydritischen Liegendteil folgt dann der mittlere, der *tonig-sandige Teil* des Grauen Salztons, T 3b, der aus rotbraunen Tongesteinen besteht und den größten Teil des T 3 in „Königshall-Hindenburg" umfaßt. Die Mächtigkeit beträgt 16—17 m. Darauf folgt das T 3c, der *karbonatische Hangendteil*, mit 7—8 m Mächtigkeit, der in „Königshall-Hindenburg" aus zum Teil stark dolomithaltigen grauen Tongesteinen besteht. Abgeschlossen wird der Graue Salzton durch den Hauptanhydrit (A 3).

Probennahme

Die untersuchten Proben entstammen drei verschiedenen Fundpunkten des Grubenfeldes von „Königshall-Hindenburg".

Fundpunkt 1: 783 m Sohle, 400 m südlich des Schrägaufzuges. Durch einen beim Salzabbau entstandenen kleineren Abbruch im Grauen Salzton an der Grenze K 2—T 3 waren bei senkrechter Lagerung des Gesteins die unteren 5 m des Grauen Salztons aufgeschlossen.

Fundpunkt 2: 783 m Sohle, 270 m südlich des Schrägaufzuges. Hier waren, ebenfalls durch einen Abbruch, im Grauen Salzton bei senkrechter Lagerung die untersten 10 m des T 3 aufgeschlossen.

Die gesamte Mächtigkeit des Grauen Salztons konnte an den Fundpunkten 1 und 2 nicht gemessen werden, da der folgende Hauptanhydrit, A 3, durch die Brüche nicht aufgeschlossen war. Sie beträgt nach Angaben von Herrn Dr. Hentschel etwa 30 m.

Vom Fundpunkt 1 wurden folgende Proben entnommen. [Die hinter der Probennummer vermerkte Meter-Zahl gibt die Entfernung vom Hangenden des Kalilagers (Grenze K 2—T 3) zum Entnahmepunkt im Grauen Salzton an. Außerdem ist die Farbe des entnommenen Materials angegeben.]:

Probe-Nr. 2938, 0,25 m, grau
Probe-Nr. 2937, 1 m, grau
Probe-Nr. 2933, 2,5 m, grau
Probe-Nr. 2932, 3 m, graublau
Probe-Nr. 2930, 3,5 m, graublau
Probe-Nr. 2928, 4 m, rotbraun

Die fünf erstgenannten Proben gehören zum anhydritischen Liegendteil, T 3a, die letztgenannte, Nr. 2928, gehört zum T 3b.

Die Proben des Fundpunktes 2 schließen sich stratigraphisch an die des Fundpunktes 1 an und entstammen alle dem mittleren Teil, T 3b, des Grauen Salztons:

Probe-Nr. 2939, 4 m, rotbraun
Probe-Nr. 2941, 7 m, rotbraun
Probe-Nr. 2942, 8 m, braun
Probe-Nr. 2944, 10 m, rotbraun

Die Aufschlüsse auf der 783 m Sohle südlich des Schrägaufzuges sind aus technischen Gründen nicht mehr zugänglich.

Fundpunkt 3 ist die Bohrung 4/58 auf der 624 m Sohle. Die Bohrung lieferte das gesamte Profil des Grauen Salztons, der an dieser Stelle mit 20 m Mächtigkeit erbohrt wurde. T 3a = 5 m, T 3b = 9 m, T 3c = 6 m. Die Mächtigkeit des T 3 ist an dieser Stelle also geringer als die durchschnittliche Gesamtmächtigkeit des Grauen Salztons in „Königshall-Hindenburg".

Folgende Proben wurden entnommen und untersucht:

Probe-Nr. 3358, 7 m, rotbraun
Probe-Nr. 3353, 13 m, rotbraun
Probe-Nr. 3350, 15 m, grau
Probe-Nr. 3348, 18 m, grau
Probe-Nr. 3346, 19 m, grau (1 m im Liegenden des A 3)

Die zwei erstgenannten Proben gehören zum T 3b, die drei letztgenannten zum karbonatischen Hangendteil, T 3c.

Zur besseren Übersicht sind noch einmal die untersuchten Proben aller drei Fundpunkte in stratigraphischer Reihenfolge aufgeführt:

T 3a 2930 ↑	T 3b 3353 ↑	A 3 (Hangendes)
2932	2944	
2933	2942	T 3c 3346 ↑
2937	3358	3348
T 3a 2938	2941	T 3c 3350
	2939	
K 2 (Liegendes)	T 3b 2928	

Röntgenographische Untersuchung der unaufbereiteten Proben

Salztone bestehen aus Salz und Ton. Sie sind in der Hauptsache ein Gemenge verschiedener Salzminerale und Tonminerale.

Die Salzminerale stören die Aufbereitung der Proben für die Sieb- und Schlämmanalyse, so daß sie durch Auflösen entfernt werden müssen. Wenn diese

zu entfernenden Salzminerale ihrer Art nach bekannt sind, so läßt sich durch geeignete Wahl der Lösungsmittel die Aufbereitung schneller und besser durchführen.

Von den unaufbereiteten Proben wurden deshalb Röntgenaufnahmen mit einem registrierenden Zählrohrgoniometer (Müller-Mikro-111) angefertigt mit dem Ziel, die in den Proben vorkommenden Salzminerale kennenzulernen. Daß dabei auf den Röntgendiagrammen nur die in größerer Menge vorliegenden Salzminerale zu identifizieren sein würden, war von vornherein zu erwarten.

Tabelle 2. *Röntgenographisch bestimmte Salzminerale*

	Proben-Nr.														
	2938	2937	2933	2932	2930	2928	2939	2941	3358	2942	2944	3353	3350	3348	3346
Steinsalz . .	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+		+	+	+
Anhydrit . .	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			
Sylvin . . .	+	+													
Dolomit . . .														+	+

Die Tabelle 2 zeigt das Ergebnis der Untersuchungen. Darin sind nur die durch die Röntgenaufnahmen festgestellten Salzminerale angegeben. Die übrigen im Grauen Salzton vorkommenden Minerale sind nicht aufgeführt.

Aufbereitung der Proben; Sieb- und Schlämmanalyse

Um den Mineralbestand eines Tons bestimmen zu können, ist es erforderlich, ihn mittels Sieb- und Schlämmanalyse in Korngrößenklassen zu zerlegen.

Nach der Normalmethode von ODÉN wird die Aufbereitung der Proben für die Sieb- und Schlämmanalyse folgendermaßen vorgenommen: Die Gesteinsprobe wird in einem Hartholzmörser zerdrückt und danach in einer $^1/_{100}$ n NH_4OH-Lösung je nach ihrem Verfestigungsgrad eine gewisse Zeit in einem drehenden Schüttelapparat geschüttelt, um den Gesteinsverband der Probe aufzulösen. Danach werden die aufbereiteten Proben mittels Sieb- und Schlämmanalyse in die einzelnen Korngrößenklassen getrennt. Diese Arbeitsweise beruht auf den Erfahrungen von CORRENS u. Mitarb.[9].

Bei der Aufbereitung der Proben des Grauen Salztons nach der Methode von ODÉN lösen sich die Salze je nach ihrer Löslichkeit in Wasser bzw. in $^1/_{100}$ n NH_4OH-Lösung auf, so daß die Dispersionsflüssigkeit einen hohen Elektrolytgehalt hat, der die Schlämmanalyse sehr erschwert bzw. sie unmöglich macht. Die einzelnen unlöslichen Mineralteilchen koagulieren sofort in der Flüssigkeit und sinken schnell ab. Es muß daher während der Aufbereitung der Elektrolytgehalt entfernt werden, der sich so lange nachbildet, wie noch Salzminerale vorhanden sind. Die Salzminerale können außerdem andere Bestandteile des Gesteins einschließen, so daß es auch aus diesem Grunde erforderlich ist, die Salze quantitativ zu entfernen.

Bei den Proben 2938, 2933, 2930 und 2942 wurde folgendermaßen verfahren: Etwa 250 g der bergfrischen Probe wurden in einem Hartholzmörser so weit zerkleinert, daß die einzelnen Stücke gerade durch den Flaschenhals einer 1 Liter

Polyäthylenflasche (etwa 2 cm ⌀) paßten. Bei diesem ersten Zerkleinern leistete das Material keinen großen Widerstand. Eine abgewogene Menge dieses zerkleinerten Materials (40 g) wurde dann in eine solche Kunststofflasche geschüttet und diese mit $^1/_2$ Liter H_2O gefüllt. Dann wurde die Probe mit der Flüssigkeit in einer drehenden Schüttelmaschine 70 Std geschüttelt und danach die Flüssigkeit durch die Siebplatte eines Ultrafiltrationsgerätes abgegossen. Die Löcher dieser Siebplatte haben einen Durchmesser von etwa 1 mm. Das zurückbleibende Material, >1 mm, zeigte abgerundete Formen und wurde mit einem Holzstift zerdrückt, was keine Schwierigkeiten machte, und danach wieder mit dem Material <1 mm und der Flüssigkeit vereinigt. Anschließend wurde mittels eines Ultrafiltrationsgerätes (Membranfilter mittel) das Lösliche (Salzlösung) vom Unlöslichen abfiltriert und nachgewaschen. Erneutes Aufschütteln des Rückstandes in H_2O ergab, daß noch keine Suspensionsbildung eingetreten war, so daß erneut in der Schüttelmaschine geschüttelt und danach abfiltriert wurde. Bei mehrmaliger Wiederholung dieses Vorganges werden die Gesteinsbröckchen bis zu den Primärteilchen der Minerale aufgeteilt und gleichzeitig der Elektrolytgehalt ständig verringert. Nach Durchsatz von insgesamt 6 Litern H_2O und 120-stündigem Schütteln war eine erste Suspensionsbildung zu erkennen. Danach erfolgte mittels nassen Siebens die Abtrennung der Teilchen $>63{,}2\ \mu$ ⌀ von den feineren Teilchen. Letztere wurden dann 24 Std mit $^1/_{100}$ n NH_4OH-Lösung geschüttelt, abfiltriert und abschließend mit H_2O gewaschen und das Filtrat auf Chlor- und Sulfatfreiheit geprüft. Das gesamte Filtrat (Salzlösung) der Proben 2938, 2933, 2930 und 2942 wurde auf dem Wasserbad eingedampft und später chemisch untersucht (s. chemische Untersuchung).

Das Dispersions- bzw. Lösungsmittel muß entsprechend den jeweils vorhandenen Salzmineralen ausgewählt werden. Handelt es sich um Steinsalz und Sylvin, so können diese schnell mit H_2O aufgelöst werden. Von den 15 in dieser Arbeit untersuchten Proben enthalten nach Röntgenaufnahmen jedoch die meisten in wechselnder Menge Anhydrit neben anderen Salzmineralen. Nur die Proben 3350, 3348 und 3346 sind nach dem röntgenographischen Befund anhydritfrei (s. Röntgenanalyse, Tabelle 2). Die Löslichkeit von Anhydrit in Wasser ist gering (bei 25° C 0,357 Mol $CaSO_4$/1000 Mol H_2O), so daß die Dispergierung und die Entfernung des Elektrolytgehaltes in wäßriger Lösung eine lange Zeit in Anspruch nimmt. Nach Angaben von D'Ans u. Mitarb.[1] ist die Löslichkeit von Anhydrit in einer wäßrigen NaCl-Lösung erheblich größer. Bei 25° C beträgt die Löslichkeit von $CaSO_4$ in 20 Mol Na_2Cl_2/1000 Mol H_2O 1,04 Mol $CaSO_4$, ist also fast dreimal so groß wie in H_2O. Beim Auflösen von Gips- und Anhydritgesteinen ist diese Tatsache von Nutzen und wird seit vielen Jahren im Göttinger Mineralogischen Institut benutzt. Ein Versuch mit einer anhydritreichen Salztonprobe zeigte bei gleicher Schütteldauer deutlich den besseren Grad der Aufbereitung bei der mit NaCl-Lösung behandelten Substanz.

In der gleichen Art, wie es für die Proben 2938, 2933, 2930 und 2942 bereits beschrieben wurde, jedoch mit einer 10%igen wäßrigen NaCl-Lösung als Lösungsmittel, erfolgte deshalb die Aufbereitung der Proben 2937, 2932, 2928, 2939, 2941, 3358, 2944, 3353.

Die Proben 3346 und 3348 enthalten nach Röntgenaufnahmen neben Steinsalz zum Teil erhebliche Mengen Dolomit. Das Röntgendiagramm der Probe 3350

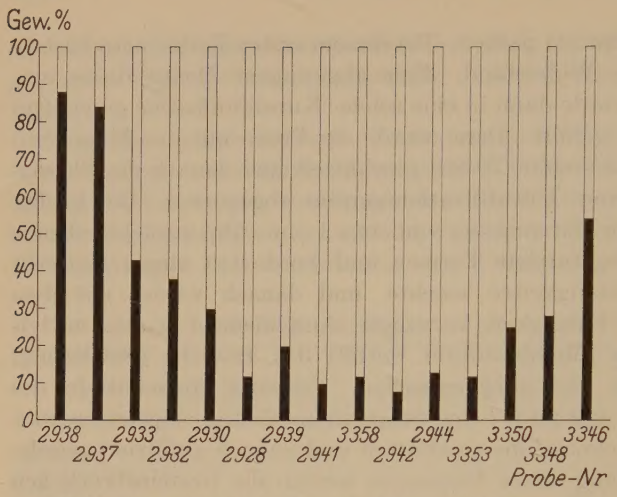

Abb. 1. Lösliches (Salz) und unlöslicher Rückstand

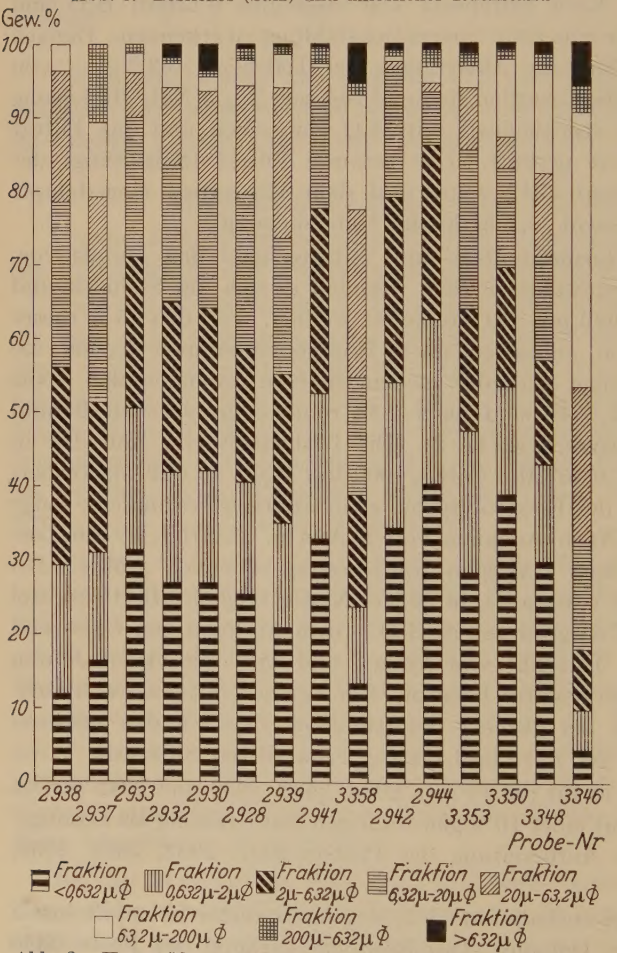

Abb. 2. Korngrößenverteilung (bezogen auf den unlöslichen Rückstand)

zeigt zwar keine Dolomit-Linien, sondern nur die stärksten Reflexe des Steinsalzes. Der Karbonatgehalt wurde jedoch auf chemischem Wege festgestellt. Zur Entfernung des Steinsalzgehaltes wurde zunächst mit Wasser geschüttelt. Danach erfolgte eine Säurebehandlung der Proben. Hierbei ist die Frage nach der Löslichkeit der Tonminerale in Säuren von Bedeutung. Mehrere Untersuchungen liegen darüber vor [6, 17]. Versuche von ECHLE[10] zeigten, daß bei der Behandlung eines dolomitischen Keupermergels mit verschiedenen Lösungsmitteln, a) mit 0,5 n HCl, b) mit 4 n Essigsäure, c) mit H-Ionenaustauscher, zur Entfernung des Dolomits im röntgenographisch bestimmten Mineralbestand keine Unterschiede auftraten. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse von HEIM[22] wurde zum Auflösen des Dolomits eine 0,2 n HCl verwendet, das Material darin geschüttelt und die Lösung auf einem Membranfilter abfiltriert, und dieser Vorgang ebenso wie bei der Aufbereitung der anderen Proben bis zur Dispergierung der Teilchen und bis zur Entfernung des Elektrolytgehaltes mehrere Male wiederholt.

In Abb. 1 ist die Menge der bei der Aufbereitung in Lösung gegangenen Substanz angegeben.

Das bei der Aufbereitung der Proben 2937, 2932, 2928, 2939, 2941, 3358, 2944, 3353, 3350, 3348 und 3346 anfallende Filtrat (Salzlösung) wurde wegen des vorherigen NaCl- bzw. HCl-Zusatzes nicht weiter chemisch untersucht. Nur die Salzlösungen der Proben 2938, 2933, 2930 und 2942 wurden, wie bereits erwähnt, chemisch analysiert und von den Proben 3350, 3348 und 3346 der CO_2-Gehalt bestimmt (s. chemische Untersuchung).

Aus der Wahl des Dispergierungs- bzw. Lösungsmittels ergibt sich daher für die chemische Untersuchung die Einteilung in 1. Untersuchung der wasserlöslichen und in 0,2 n HCl löslichen Bestandteile (Probe 2938, 2933, 2930, 2942, 3350, 3348, 3346) und 2. Untersuchung der wasserunlöslichen und in 0,2 n HCl unlöslichen Bestandteile, welche an allen Proben vorgenommen wurde, soweit genügend Material vorhanden war.

Nach Aufbereitung der Proben konnte mit der Schlämmanalyse nach dem Sedimentierverfahren im Atterbergzylinder begonnen werden. Die Korngrößenverteilung in den Proben zeigt die Abb. 2, S. 142. Die angegebenen Werte beziehen sich auf 100% des unlöslichen Rückstandes aus der Aufbereitung.

Röntgenographische Untersuchung der aufbereiteten Proben

Die Bestimmung des Mineralbestandes in den feinsten Fraktionen der abgeschlämmten Proben erfolgt mit der Röntgenanalyse.

Dazu wurden 1. Röntgenaufnahmen nach dem Texturverfahren nach Jasmund[27] auf einem registrierenden Zählrohrgoniometer, und 2. Röntgenaufnahmen mit der Guinier-Kamera nach v. Wolff[33, 45] gemacht.

Die Röntgentexturaufnahme liefert bei gut gerichteten Präparaten von den blättchenförmigen Tonmineralen nur die Basisreflexe (00*l*), die für die Identifizierung der Tonminerale sehr wichtig sind. Bei Aufnahmen mit der Guinier-Kamera fehlen die Basisreflexe oder sie treten nur schwach auf, wogegen die Nichtbasisreflexe sehr gut ausgebildet sind. Diese haben für genauere Bestimmungen innerhalb der Tonmineralgruppen neben den Basisreflexen eine besondere Bedeutung.

3. wurden quantitative Berechnungen an den qualitativ ausgewerteten Röntgendiagrammen durchgeführt.

Von den Siebfraktionen $> 63{,}2\ \mu$ ⌀ wurden 4. die darin vorkommenden Aggregate in Pulveraufnahmen auf einem registrierenden Zählrohrgoniometer untersucht.

1. Röntgenaufnahmen nach dem Texturverfahren nach Jasmund

Von den Korngrößenfraktionen $< 20\ \mu$ ⌀ sämtlicher Proben wurden Texturpräparate hergestellt und diese mit einem registrierenden Zählrohrgoniometer untersucht (Müller-Mikro-111).

Die Aufnahmen zeigen bei allen Proben der Fraktion $< 0{,}632\ \mu$ ⌀ die Basisreflexe des *Illits*, 10 Å (001), 5 Å (002), 3,3 Å (003), 2,5 Å (004), 2 Å (005). Die (003)-Linie des Illits koinzidiert mit der stärksten Linie des Quarzes, (101), $I = 100$, bei 3,3 Å. Eine Entscheidung, ob Quarz in den Proben vorhanden ist, kann in Texturaufnahmen durch die nächst schwächere Quarzlinie, (100), $I = 80$, bei 4,25 Å getroffen werden. In der Fraktion $< 0{,}632\ \mu$ ⌀ ist der (100)-Reflex des Quarzes auf allen Aufnahmen mit Ausnahme der Proben 2933, 2939 und 3350 sichtbar. Die sehr geringe Intensität dieser Linie zeigt aber einen Quarz-

gehalt an, der unter 5% liegt. Die Proben 2933, 2939 und 3350 scheinen nach dem röntgenographischen Befund dagegen quarzfrei zu sein.

Weiterhin zeigen alle Aufnahmen der Fraktion $< 0{,}632\ \mu$ ⌀ die Basislinien des *Chlorits*, 14,2 Å (001), 7,1 Å (002), 4,7 Å (003), 3,5 Å (004), 2,8 Å (005). Die Entscheidung, ob es sich bei diesen Reflexen nur um die des Chlorits handelt, kann nicht ohne weitere Nachprüfungen getroffen werden, denn auch Montmorillonit würde mit seinem ersten Basisreflex zwischen 12 Å und 15 Å liegen. Dreitägige Behandlung der Proben mit Äthylenglykol ergab aber keinerlei Veränderungen der Linien im Röntgendiagramm. Quellfähige Minerale wie Montmorillonit oder quellfähiger Chlorit[42] sind danach nicht vorhanden.

Schwieriger ist die Entscheidung, ob neben Chlorit auch noch Kaolinit vorhanden ist. Sind beide Tonminerale zugegen, so können die 3,53 Å-Linie des Chlorits und die 3,57 Å-Linie des Kaolinits als doppelter oder breiter Peak ausgebildet sein. Daneben hat Kaolinit einen Reflex bei 2,38 Å, (003), der beim Chlorit, (006), oft fehlt oder nur schwach ausgebildet ist[43]. Bei den untersuchten Proben des Grauen Salztons ist die 3,5 Å-Linie auf den Röntgenaufnahmen scharf ausgebildet. Anzeichen einer Verbreiterung oder einer Doppellinie sind nicht vorhanden, was damit gegen das Vorhandensein von Kaolinit spricht. Der nach WEAVER[43] möglicherweise auf Kaolinit hindeutende Reflex bei 2,38 Å ist sichtbar, aber nur mit geringer Intensität.

Thermische Behandlung der Proben ergibt nicht ohne weiteres einen endgültigen Beweis für das Vorhandensein von Kaolinit neben Chlorit. Nach WEAVER[43] verschiebt sich der (001)-Reflex des Chlorits bei Erhitzung auf 550° C von 14,2 Å auf 13,8 Å bei gleichzeitiger Zunahme der Intensität, während alle übrigen Basisreflexe des Chlorits außer (005) bei 2,8 Å nach dieser Behandlung nicht mehr vorhanden sind. Gleichfalls zeigt der Kaolinit nach Erhitzung auf 550° C keine Reflexe mehr, da er bei dieser Temperatur zerstört wird.

Nach BRINDLEY[4] und JASMUND[28] erfolgt beim Chlorit bei thermischer Behandlung innerhalb des Temperaturbereiches von 400—700° C vor allem eine Veränderung in der Intensität der Röntgenreflexe, wobei (001) zeitweise stärker und (002) zeitweise schwächer auftreten als bei den unbehandelten Proben. Die Verschiebung des (001)-Reflexes zu etwas kleineren *d*-Werten soll durch den stufenweisen Abbau der Brucit-Schicht im Chloritgitter hervorgerufen werden. Nach Zerstörung der Kaolinit-Phase bei 550° C läßt sich der Kaolinitanteil in Proben, die beide Minerale enthalten, bei Berücksichtigung der Intensitätsänderung abschätzen.

JOHNS, GRIM und BRADLEY[29] führten Erhitzungsversuche mit Proben durch, welche Kaolinit und Chlorit enthielten. Hiernach wurden die Proben in 45 min auf 450° C erhitzt und anschließend an der Luft abgekühlt. Dieses Erhitzungsverfahren ist willkürlich und wurde nach vielen Versuchen aus dem Grunde ausgewählt, weil bisher kein Kaolinit von den Verfassern gefunden worden ist, der seine Beugungseffekte bei solch einer Erhitzung verliert. Deshalb können Beugungseffekte bei 7 Å und 3,5 Å, welche bei solch einer Erhitzung verschwinden, nicht zum Kaolinit gehören. In Abhängigkeit von seiner Zusammensetzung und seinem Kristallisationsgrad kann der Chlorit seine 7 Å- und 3,5 Å-Reflexe verlieren oder nicht verlieren, wenn er auf 450° C erhitzt und anschließend sofort abgekühlt wird. Im allgemeinen ist zu sagen, daß der Verlust der 7 Å- und der 3,5 Å-

Reflexe unter den genannten Bedingungen das Vorhandensein von Chlorit anzeigt. Wenn die Reflexe bestehen bleiben, so zeigen sie entweder Chlorit oder Kaolinit an. In Proben, die Chlorit mit einem besseren Kristallisationsgrad und einer größeren thermischen Stabilität enthalten, müssen nach den Verfassern andere Verfahren benutzt werden, um Chlorit und Kaolinit zu unterscheiden.

Am Beispiel der Probe 2930, $< 0{,}632\ \mu\ \varnothing$, wird im folgenden das Verhalten der Chloritreflexe auf den Röntgenaufnahmen der untersuchten Proben nach thermischer Behandlung gezeigt:

Tabelle 3. *Veränderungen der Basisreflexe des Chlorits nach thermischer Behandlung.* Probe 2930, Fraktion $< 0{,}632\ \mu\ \varnothing$

Erhitzungstemperatur T	Dauer der Erhitzung bei T	d-Wert (001) Å	Relative Intensität I			
			(001)	(002)	(003)	(004)
unbehandelte Probe	—	14,62	20	83	32	100
440° C	45 min	14,57	22	73	29	98
500° C	45 min	13,38	22	22	n.m.v.*	39
550° C	45 min	13,34	29	22	n.m.v.	32
600° C	45 min	13,34	37	7	n.m.v.	n.m.v.
650° C	45 min	12,23**	22	n.m.v.	n.m.v.	n.m.v.
700° C	60 min	—	n.m.v.	n.m.v.	n.m.v.	n.m.v.

* n.m.v. = nicht mehr vorhanden.
** = der Reflex ist stark verbreitert und unscharf.

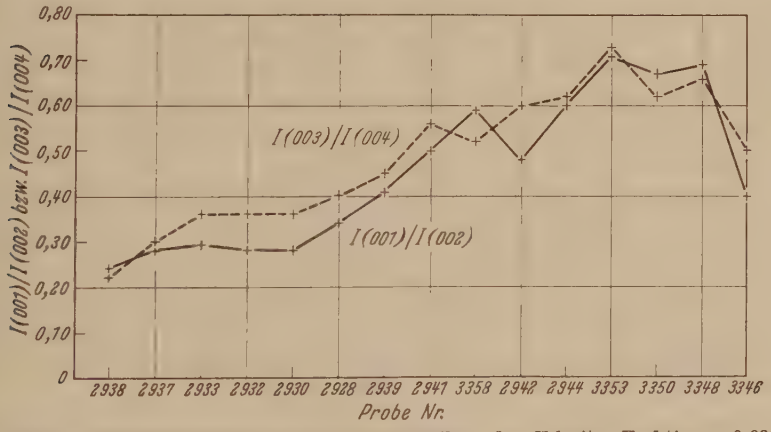

Abb. 3. Intensitätsverhältnisse der Röntgenreflexe des Chlorits; Fraktion $< 0{,}632\ \mu\ \varnothing$

Die geringen Veränderungen in der Intensität der (002)- und (004)-Reflexe zwischen 500° und 550° C deuten darauf hin, daß es sich bei diesen Reflexen nur um die Linien des Chlorits handelt. Bei Anwesenheit von Kaolonit in der Probe hätte durch die Zerstörung der Kaolinit-Phase in diesem Temperaturbereich eine größere Intensitätsverminderung eintreten müssen.

Nach Brindley[4] ist es nicht möglich, aus Röntgenaufnahmen verschiedene Arten von Chloriten zu unterscheiden, da die einzelnen Chlorit-Typen alle den

gleichen strukturellen Aufbau haben. Dagegen macht sich isomorpher Ersatz einzelner Elemente innerhalb des Chloritgitters durch Veränderungen der Intensitäten der Basislinien bemerkbar. Der Einbau von Al für Si hat nur eine geringe Wirkung. Wird Mg in der Oktaederschicht der Chlorite durch Fe^{++} ersetzt, so tritt eine relative Verminderung der Intensität der (001)- und (003)-Peaks gegenüber den (002)- und (004)-Peaks auf. Da jedoch der Ersatz sowohl in der Brucit-Schicht als auch in der Talk-Schicht erfolgen kann, sind die Erscheinungen der Intensitätsänderung nicht immer einfach zu deuten.

Bei den untersuchten Proben des Grauen Salztons von „Königshall-Hindenburg" zeigt sich bei den Chlorit-Linien auf den Röntgendiagrammen eine Veränderung des Intensitätsverhältnisses (001)/(002) und (003)/(004) vom Liegenden zum Hangenden, siehe Abb. 3. Danach ist anzunehmen, daß im Liegenden des Profils in den Chloriten mehr Mg durch Fe^{++} ersetzt ist als im hangenden Teil.

2. Röntgenaufnahmen mit der Guinier-Kamera nach v. WOLFF

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal zwischen Kaolinit und Chlorit liefert die Guinier-Aufnahme. Dafür sind die (060)-Interferenzen dieser beiden Minerale wichtig. Der (060)-Reflex für Kaolinit liegt bei 1,486 Å, während der (060)-Reflex für Chlorit bei 1,53 Å liegt. In den für diese Arbeit untersuchten Proben der Fraktion $< 0{,}632\ \mu\ \varnothing$ des Grauen Salztons von „Königshall-Hindenburg" verlief die Prüfung auf Kaolinit in den Guinier-Aufnahmen negativ.

Der Nachweis von geringen Quarzmengen, der in Texturaufnahmen wegen des Zusammenfallens der 3,34 Å-Linie des Quarzes mit der (003)-Linie des Illits bei 3,33 Å schwierig ist, kann durch Aufnahmen mit der Guinier-Kamera besser geführt werden. Bei guter Orientierung des Präparates, die man am Fehlen der (001)-Linie des Illits bei 10 Å erkennt, tritt, soweit Quarz in der Substanz vorhanden ist, bei 3,34 Å die (101)-Linie dieses Minerals auf. Die Prüfung auf Quarz in den Proben der Fraktion $< 0{,}632\ \mu\ \varnothing$ mit Guinier-Aufnahmen ergab das gleiche Ergebnis wie bei den Texturaufnahmen.

Weiter wurde mit Aufnahmen der Guinier-Kamera untersucht, ob es sich bei dem aus Texturaufnahmen bestimmten Illit um ein di- oder trioktaedrisches Mineral handelt. Zur Bestimmung ist wieder der (060)-Reflex sehr wichtig. Aus ihm errechnet sich der b_0-Parameter. Die (060)-Linie der Illite im Grauen Salzton hat einen d-Wert von 1,50 Å, welcher charakteristisch ist für dioktaedrische Illite (Muskovit-Typ). Trioktaedrische Illite, die zum Phlogopit-Biotit-Typ gehören, zeigen ihren (060)-Reflex bei $d = 1{,}54$ Å.

Die Röntgenaufnahmen der Fraktion $0{,}632\ \mu$—$2\ \mu\ \varnothing$ zeigen ebenfalls die Linien des *Illits*, des *Chlorits* und des *Quarzes*. Daneben kommen auf den Diagrammen aller Proben *Feldspat*-Linien vor. Die Proben 2937, 2939 und 3358 enthalten *Pyrit*. Den gleichen Mineralbestand wie die Fraktion $0{,}632\ \mu$—$2\ \mu\ \varnothing$ haben die Fraktionen $2\ \mu$—$6{,}32\ \mu\ \varnothing$ und $6{,}32\ \mu$—$20\ \mu\ \varnothing$, wobei der Pyrit häufiger wird. Den röntgenographisch bestimmten qualitativen Mineralbestand der Fraktionen $< 20\ \mu\ \varnothing$ zeigt die Tabelle 4.

Es ist noch zu erwähnen, daß die Beugungsreflexe der Tonminerale auf den Röntgenaufnahmen der unaufbereiteten Proben keine Veränderungen in ihren

Tabelle 4. *Röntgenographisch bestimmter qualitativer Mineralbestand der Fraktionen <20 μ ∅*

Fraktion	Mineralbestand
<0,632 μ ∅	Chlorit, Illit, z.T. Quarz
0,632 μ—2 μ ∅	Chlorit, Illit, Quarz, Feldspat, z.T. Pyrit
2 μ—6,32 μ ∅	Chlorit, Illit, Quarz, Feldspat, z.T. Pyrit
6,32 μ—20 μ ∅	Chlorit, Illit, Quarz, Feldspat, z.T. Pyrit

d-Werten gegenüber den Reflexen auf den Aufnahmen der aufbereiteten Proben zeigen.

3. Quantitative Berechnungen an den qualitativ ausgewerteten Röntgendiagrammen

Die quantitative Berechnung des Mineralbestandes aus Röntgentexturaufnahmen wurde auf der Grundlage der Arbeit von JOHNS, GRIM und BRADLEY[29] durchgeführt. Die Verfasser geben in ihrer Arbeit ein Verfahren an, mit dem, erklärt am Beispiel rezenter Sedimente des Golfs von Mexiko, der Mineralbestand in Tonmineralgemischen der Fraktion <2 μ ∅, bestehend aus Montmorillonit, Illit. Kaolinit, Chlorit mit einer geringen Quarzbeimengung, quantitativ bestimmt werden kann. Die Bestimmung erfolgt durch Vergleich der Intensitäten bestimmter Basisreflexe.

Im Falle der untersuchten Proben von „Königshall-Hindenburg" vereinfacht sich das Bestimmungsverfahren, da als Hauptbestandteile nur zwei Tonminerale, nämlich Chlorit und Illit, vorhanden sind, deren Röntgenbasisreflexe im Bereich von $d = 3{,}3$ Å bis 3,5 Å, (003)-Illit und (004)-Chlorit, unmittelbar miteinander verglichen werden können. Die Quarzbeimengungen müssen berücksichtigt werden.

Um den Quarzgehalt bestimmen zu können, wurden Eichpräparate hergestellt. Einer quarzfreien Salztonprobe wurden 5%, 10%, 15% und 20% Dörentruper Quarzmehl beigemengt und die Röntgendiagramme dieser Eichpräparate mit den Röntgenaufnahmen der zu untersuchenden Proben verglichen.

Auf diese Weise wurde der Mineralbestand der Fraktionen <6,32 μ ∅ quantitativ bestimmt. Die Genauigkeit der Bestimmung dürfte in einem Schwankungsbereich von ±5—10% der angegebenen Werte liegen. Es ist zu beachten, daß in Proben, die neben blättchenförmigen Tonmineralen noch andere Minerale wie Quarz und Feldspat enthalten, bei der Herstellung der Texturpräparate durch Absedimentieren auf einer ebenen Unterlage die nichtblättchenförmigen Minerale schneller absinken als die Tonminerale, welche länger in der Flüssigkeit schweben. Dadurch erfolgt eine Anreicherung von nichtblättchenförmigen Mineralen an der Unterseite des Präparates, die dem Strahlengang des Röntgenlichtes weniger ausgesetzt ist. Die angezeigte Intensität der Reflexe der Tonminerale, die an der Oberseite des Präparates liegen, ist daher größer als es der wirklichen Menge der vorhandenen Tonminerale entspricht. Die angegebenen Werte für Quarz, Feldspat und Pyrit dürften daher besonders in der Fraktion 2 μ—6,32 μ ∅ zu gering, die von Illit und Chlorit ein wenig zu hoch sein.

Das Ergebnis der quantitativen Auswertung der Röntgendiagramme nach JOHNS, GRIM und BRADLEY[29] zeigt die Tabelle 5, S. 148.

Das Verfahren zur quantitativen Bestimmung des Mineralbestandes in Tonen mit Röntgenstrahlen nach v. ENGELHARDT[11] wurde nicht angewandt, da für die

Tabelle 5. *Röntgenographisch bestimmter quantitativer Mineralbestand der Fraktionen $< 6{,}32\,\mu$ ⌀* (in %)

	Proben-Nr.														
	2938	2937	2933	2932	2930	2928	2939	2941	3358	2942	2944	3353	3350	3348	3346
	Fraktion $< 0{,}632\,\mu$ ⌀														
Chlorit	70	60	60	60	50	50	50	40	60	40	30	40	10	30	10
Illit	30	40	40	40	50	50	50	60	40	60	70	60	90	70	90
Quarz	+	+	—	+	+	+	—	+	+	+	+	+	—	+	+
Feldspat	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Pyrit	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Fraktion $0{,}632\,\mu$—$2\,\mu$ ⌀														
Chlorit	60	50	30	50	50	50	40	30	40	30	20	30	20	20	10
Illit	30	40	60	50	50	50	50	60	50	60	70	60	70	60	70
Quarz	10	10	10	+	+	+	10	10	10	10	10	10	10	20	20
Feldspat	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pyrit	—	+	—	—	—	—	+	—	+	—	—	—	—	—	—
	Fraktion $2\,\mu$—$6{,}32\,\mu$ ⌀														
Chlorit	40	30	20	30	20	30	30	20	20	20	20	20	20	10	10
Illit	50	60	60	60	60	60	60	60	60	60	70	70	60	50	60	60
Quarz	10	10	20	10	20	10	10	20	20	10	10	20	30	30	30
Feldspat	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pyrit	+	+	—	—	—	+	+	—	+	—	+	+	+	—	+

+ = weniger als 5% vorhanden

Messung größere Substanzmengen erforderlich sind, als sie nach der Herstellung von Texturpräparaten und nach Durchführung chemischer Analysen zur Verfügung standen.

4. Die Aggregate der Siebfraktionen

Die Korngrößenfraktion $63{,}2\,\mu$—$200\,\mu$ ⌀ enthält neben viel Quarz zahlreiche Mineralaggregate. Weiterhin bestehen die gröberen Fraktionen aus Aggregaten, die durch den Aufbereitungsvorgang nicht aufgeschlossen worden sind. Dies ist besonders bei den Proben 2937, 3358, 3348 und 3346 der Fall. Außer einer Verschiebung in der Korngrößenverteilung dürften dadurch aber keine wesentlichen Veränderungen der Untersuchungsergebnisse auftreten. Die Mineralzusammensetzung der Aggregate ist mikroskopisch nicht zu bestimmen. Sie wurden daher zerrieben und qualitativ röntgenographisch untersucht. Die Goniometeraufnahmen zeigen die Linien folgender Minerale (in der Reihenfolge der ungefähren Häufigkeit dieser Minerale): Quarz, Illit, Chlorit, Orthoklas und Plagioklas, Hämatit.

Differentialthermoanalyse

Neben den Röntgenmethoden ist die Differentialthermoanalyse für die Untersuchung von Tonen, bei denen eine mikroskopische Bestimmung des Mineralbestandes in den feinsten Korngrößenfraktionen nicht möglich ist, von Bedeutung. Sie wurde in dieser Arbeit zur Bestätigung der qualitativen röntgenographischen Befunde angewandt. Quantitative Bestimmungen erfolgten nicht.

Die Aufnahmen der untersuchten Fraktionen $< 6{,}32\,\mu$ ⌀ zeigen im allgemeinen alle das gleiche Bild. Den Verlauf der Differentialthermokurven gibt, gezeigt am Beispiel der Probe 2933, Fraktion $< 0{,}632\,\mu$ ⌀, die Abb. 4 wieder.

Die Kurve hat bei 110° C einen geringen endothermen Ausschlag, der durch den Illit hervorgerufen wird. Diese Reaktion ist für die Unterscheidung zwischen Illit und Muskovit von Bedeutung. Der Muskovit macht sich nur durch einen endothermen Ausschlag bei 900° C bemerkbar[4]. Die endothermen Reaktionen bei 630° C und 840° C und die exotherme Reaktion bei 860° C werden durch den Chlorit hervorgerufen. Sie sind zugleich die drei typischen Reaktionen des Chlorits in der Differentialthermoanalyse.

Der Illit gibt, wie bereits erwähnt, bei 110° C und außerdem zwischen 500° und 600° C und bei 900° C schwache endotherme Reaktionen. Oberhalb 900° C folgt noch ein schwacher exothermer Ausschlag. Nach Lippmann[32] schwanken Größe und Breite der Reaktionen beim Illit erheblich, so daß der Nachweis von Illit neben anderen Tonmineralen schwierig ist.

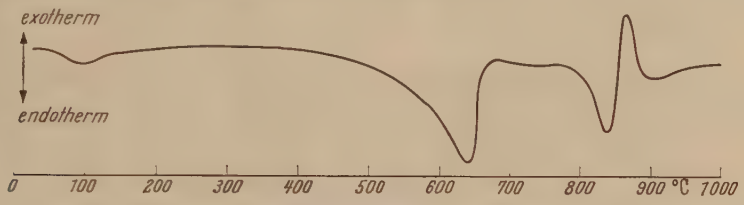

Abb. 4. Differentialthermokurve; Probe 2933, Fraktion $<0{,}632\ \mu$ ⌀

Die Ausschläge des Illits zwischen 500° und 600° C und bei 900° C in der gezeigten Aufnahme dürften durch die Chlorit-Reaktionen überdeckt sein bzw. sie sind zu schwach, um sichtbar zu werden.

Die Frage nach dem Vorhandensein von Kaolinit neben Chlorit in den untersuchten Proben, die bereits bei den Röntgenuntersuchungen ausführlich behandelt wurde, wird auch durch die Differentialthermoanalyse negativ entschieden, da die Reaktionen des Kaolinits bei 580°—600° C (endotherm) und 980°—1000° C (exotherm) fehlen.

Die übrigen röntgenographisch bestimmten Minerale sind in zu geringer Menge vorhanden, als daß sie sich in der Differentialthermoanalyse bemerkbar machen könnten. Lediglich der Quarz kann bei erhöhter Empfindlichkeit der Galvanometer an der Inversion bei 573° C durch einen endothermen Ausschlag erkannt werden.

Chemische Untersuchung

Um einen Überblick hinsichtlich der stofflichen Zusammensetzung der röntgenographisch und differentialthermoanalytisch untersuchten Proben zu erhalten, wurden chemische Analysen angefertigt.

Die erste chemisch-analytische Bearbeitung des Grauen Salztons erfolgte durch Precht[37]. Weitere ausführliche Untersuchungen führten Marcus und Biltz[35] durch. Von den gleichen Verfassern stammt eine Arbeit über den Roten Salzton[36]. Verschiedene Salztonproben analysierte Reidemeister[38].

Die im folgenden beschriebenen Untersuchungen teilen sich auf Grund der Aufbereitung der Proben (s. S. 143) in zwei Gruppen ein:

1. Untersuchung der wasserlöslichen und in 0,2 n HCl löslichen Bestandteile,
2. Untersuchung der wasserunlöslichen und in 0,2 n HCl unlöslichen Bestandteile (Material der Schlämmanalyse).

Der Zielsetzung dieser Arbeit entsprechend, wurde das Hauptgewicht auf die Untersuchung unter 2. gelegt, und dabei wiederum besonders auf das Material der Fraktionen $< 0{,}632\ \mu\ \varnothing$ und $0{,}632\ \mu$—$2\ \mu\ \varnothing$.

1. Wasserlösliche und in 0,2 n HCl lösliche Bestandteile

Wie die Bezeichnung „Salzton" schon andeutet, besteht das Gestein aus Salz (im folgenden als löslicher Anteil bezeichnet) und Ton. Der mengenmäßige Anteil des Löslichen ist aus der Abb. 1 zu ersehen. Es setzt sich zusammen aus Ca, Mg, Na, K, SO_4, Cl, CO_2, die in der chemischen Analyse quantitativ bestimmt wurden.

Aus Gründen der Aufbereitung war dies nur bei den Proben 2938, 2933, 2930 und 2942 möglich (s. S. 143). In den Proben 3350, 3348 und 3346 wurde nur CO_2 bestimmt.

Tabelle 6. *Chemische Zusammensetzung des löslichen Anteils* (in Gew.-%)

	Proben-Nr.						
	2938	2933	2930	2942	3350	3348	3346
	Lösliches in der Gesamtprobe (%)						
	95,6	43,3	29,8	7,8	25,1	27,6	53,9
SO_4^{--}	13,2	40,9	49,9	17,6	n.b.	n.b.	n.b.
Cl^-	47,7	26,2	19,0	48,2	n.b.	n.b.	n.b.
CO_2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,1	4,9	18,4
Ca^{++}	5,6	18,6	23,2	13,1	n.b.	n.b.	n.b.
Mg^{++}	0,3	2,0	3,3	7,6	n.b.	n.b.	n.b.
K^+	6,4	1,2	2,5	7,2	n.b.	n.b.	n.b.
Na^+	26,5	10,7	2,0	5,5	n.b.	n.b.	n.b.
Summe:	99,7	99,6	99,9	99,2	—	—	—

Der Mineralbestand des löslichen Anteils, den diese chemischen Bestandteile vor der Auflösung gebildet hatten, konnte an den unaufbereiteten Proben qualitativ röntgenographisch festgestellt werden (s. Tabelle 2). Probe 2938 enthält als Hauptbestandteil Steinsalz, Anhydrit und Sylvin. Die Proben 2933, 2930 und 2942 enthalten Steinsalz und Anhydrit. Probe 3350 enthält Steinsalz. 3346 und 3348 zeigen die Linien des Dolomits und des Steinsalzes. Die Röntgeninterferenzen des Dolomits[4] sind einschließlich der Überstrukturlinien vollzählig vorhanden. Magnesit-Linien fehlen.

Tabelle 6 zeigt die chemische Zusammensetzung des löslichen Anteils der untersuchten Proben und gibt die Menge des Löslichen in der Gesamtprobe an.

Aus dieser Analyse kann mit Hilfe des qualitativen Röntgenbefundes der Mineralbestand bestimmt werden. Nach Berechnung der Minerale Anhydrit und Steinsalz verbleibt noch ein Rest an Ca, Mg, K und Cl. Dieser kann in Form von Laugeneinschlüssen vorhanden gewesen sein, die röntgenographisch nicht nachweisbar sind, oder in Klüften und Haarrissen als Tachhydrit ($CaCl_2 \cdot 2\ MgCl_2 \cdot 12\ H_2O$) und Carnallit ($KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6\ H_2O$). Noch verbleibendes K und Cl wird als KCl verrechnet. Röntgenographisch konnte in den bergfrischen Proben weder Tachhydrit noch Carnallit nachgewiesen werden, da diese, wenn sie vorhanden sind, entweder in zu geringer Menge vorliegen oder aber,

besonders beim Tachhydrit, beim Aufbewahren an Luft sich sofort verändern, weil sie stark hygroskopisch sind. (Nach Abschluß der Untersuchungen konnte in einem bergfrischen Handstück aus einem neuen Aufschlußpunkt Carnallit mikroskopisch nachgewiesen werden.)

Die Analysen wurden auf die Minerale Steinsalz, Anhydrit, Sylvin, Tachhydrit, Carnallit und Dolomit verrechnet. Unter Berücksichtigung des in der chemischen Analyse (Tabelle 6) nicht bestimmten H_2O für Tachhydrit und

Tabelle 7. *Mineralbestand des löslichen Anteils* (in Gew.-%)

	Proben-Nr.						
	2938	2933	2930	2942	3350	3348	3346
Steinsalz . . .	66,6	25,1	4,5	10,6	n.b.	n.b.	n.b.
Anhydrit . . .	18,5	53,5	61,9	18,8	n.b.	n.b.	n.b.
Sylvin	11,4	1,8	2,7	8,9	n.b.	n.b.	n.b.
Tachhydrit . .	1,2	18,2	26,8	56,4	n.b.	n.b.	n.b.
Carnallit . . .	2,3	1,4	4,1	5,3	n.b.	n.b.	n.b.
Dolomit. . . .	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,2	10,3	38,6
Summe:	100,0	100,0	100,0	100,0	—	—	—

Carnallit ergibt sich mit dieser Annahme eine Mineralzusammensetzung des löslichen Anteils, wie sie Tabelle 7 zeigt.

2. Wasserunlösliche und in 0,2 n HCl unlösliche Bestandteile

Von den Fraktionen $< 0{,}632\ \mu\ \varnothing$ und $0{,}632\ \mu$—$2\ \mu\ \varnothing$ aller abgeschlämmten Proben des Salztonprofils wurden, soweit das Abschlämmen genügend Material geliefert hatte, chemische Analysen angefertigt. Auf Spurenelemente wurde vom Verfasser nicht geprüft.

SiO_2, TiO_2, Al_2O_3, Gesamt-Fe als Fe_2O_3, MnO und P_2O_5 wurden colorimetrisch nach dem Verfahren von Shapiro und Brannock[41] bestimmt. Als Vergleichsmaterial dienten teilweise Standardproben des NBS (National Bureau of Standards), teilsweise selbst hergestellte und sorgfältig geprüfte Eichsubstanzen. Die Messungen erfolgten mit einem Zeiss-Spektralphotometer PM Q2. CaO und MgO wurden komplexometrisch nach Shapiro und Brannock[41] bestimmt. Durch einen geringen Zusatz von Naphthol-Grün-B ist der Farbumschlag bei der Ca-Bestimmung ein wenig besser zu erkennen.

Natrium und Kalium wurden flammenphotometrisch bestimmt, und zwar ebenfalls mit dem Zeiss-Spektralphotometer PM Q2 mit Flammenzusatzgerät (Azetylen-Sauerstoff-Flamme).

H_2O^+, FeO und CO_2 wurden nach Hillebrand-Lundell[26] bestimmt.

Die H_2O^+-Bestimmung (Brush-Penfield) benötigt zu ihrer genauen Durchführung so große Einwaagen, wie sie hier aus der Schlämmanalyse meist nicht mehr zur Verfügung standen. Deshalb können die erhaltenen Werte zum Teil keinen Anspruch auf sehr große Genauigkeit machen. Hierauf sind die Abweichungen in der Analysenendsumme zurückzuführen. Der CO_2-Gehalt lag bei jeder Analyse unter der Nachweisbarkeitsgrenze.

Soweit genügend Analysenmaterial vorhanden war, wurden von jedem Element Doppelbestimmungen durchgeführt. Die angegebenen Analysenwerte beziehen sich alle auf die bei 110° C getrocknete Substanz.

Die drei S-Analysen wurden von Herrn Ricke[40] angefertigt, die drei Cr-Analysen von Herrn Fröhlich[15]. Umfangreichere Untersuchungen über den Bor-Gehalt des Grauen Salztons von „Königshall-Hindenburg" hat Herr Dozent Dr. Harder[19] durchgeführt.

Das Ergebnis der chemischen Untersuchungen zeigen die Tabellen 8, 9 und 10, S. 152—154.

Tabelle 8. *Chemische Analysen*

	Proben-Nr.							
	2938	2937	2933	2932	2930	2928	2939	2941
SiO_2 . . .	n.b.	37,54	40,67	n.b.	41,34	n.b.	40,56	42,76
TiO_2 . . .	n.b.	0,93	0,72	n.b.	0,78	n.b.	0,70	0,83
Al_2O_3 . .	n.b.	20,96	19,88	n.b.	20,33	n.b.	20,05	19,43
Gesamt-Fe als Fe_2O_3	n.b.	5,20	5,17	n.b.	4,81	n.b.	5,86	7,59
Fe_2O_3 . .	n.b.	3,64	3,81	n.b.	3,50	n.b.	4,27	6,15
FeO . . .	n.b.	1,40	1,22	n.b.	1,18	n.b.	1,43	1,30
MnO . . .	n.b.	0,07	0,07	n.b.	0,04	n.b.	0,06	n.b.
MgO . . .	n.b.	19,81	18,37	n.b.	15,13	n.b.	15,30	12,62
CaO . . .	n.b.	0,37	0,38	n.b.	0,49	n.b.	0,51	0,46
Na_2O . .	n.b.	0,53	0,29	n.b.	0,28	n.b.	0,44	0,57
K_2O . . .	n.b.	3,22	3,80	n.b.	4,77	n.b.	4,40	5,37
H_2O^+ . .	n.b.	9,96	8,70	n.b.	9,66	n.b.	n.b.	9,91
P_2O_5 . . .	n.b.	0,33	0,34	n.b.	0,50	n.b.	0,43	0,51
CO_2 . . .	n.b.	n.b.	—	n.b.	—	n.b.	n.b.	—
Summe:	—	98,92	98,39	—	98,13	—	88,31 $+H_2O^+$	100,05 +MnO

Allein aus der chemischen Analyse den Mineralbestand zu ermitteln, ist nicht möglich[8]. Nur im Zusammenhang mit anderen Identifizierungsmethoden, z. B. Röntgenaufnahmen oder mikroskopischen Untersuchungen, läßt sich eine solche Ermittlung durchführen, doch wird auch diese besonders schwierig, wenn es sich um Minerale aus der Gruppe der Tonminerale handelt.

Bei der graphischen Darstellung der gefundenen Analysenwerte ergeben sich für K_2O, MgO und SiO_2 charakteristische Variationen innerhalb des Profils gleichsinnig mit den quantitativen röntgenographischen Befunden. Es zeigt sich, daß mit zunehmendem Illit-Gehalt die Menge an K_2O und ebenso mit ansteigendem Chlorit-Gehalt die Menge an MgO zunimmt, so daß es also der Mühe wert scheint, für die Fraktion $<0{,}632\,\mu$ ⌀, die nach den Röntgenauf-

Tabelle 9. *Chemische Analysen*

	Proben-Nr.							
	2938	2937	2933	2932	2930	2928	2939	2941
SiO_2 . . .	38,60	41,09	43,13	42,62	44,37	42,23	43,88	45,45
TiO_2 . . .	n.b.	n.b.	1,95	1,36	1,46	1,21	1,64	1,99
Al_2O_3 . .	19,45	19,64	20,53	20,96	20,58	20,75	21,02	21,08
Gesamt-Fe als Fe_2O_3	n.b.	n.b.	5,38	5,31	5,09	6,17	5,99	7,06
Fe_2O_3 . .	n.b.	n.b.	2,57	3,17	2,49	4,65	4,50	n.b.
FeO . . .	n.b.	n.b.	2,53	1,93	2,34	1,37	1,34	n.b.
MnO . . .	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
MgO . . .	n.b.	n.b.	15,52	13,97	13,11	14,85	13,58	9,97
CaO . . .	n.b.	n.b.	0,37	0,35	0,46	0,20	0,51	0,45
Na_2O . .	n.b.	n.b.	0,40	0,44	0,37	0,46	0,48	0,76
K_2O . . .	n.b.	n.b.	4,72	4,85	4,87	4,57	4,85	6,27
H_2O^+ . .	n.b.	n.b.	8,20	8,51	8,78	8,24	n.b.	n.b.
P_2O_5 . . .	n.b.	n.b.	n.b.	0,19	0,49	n.b.	0,26	0,28
CO_2 . . .	n.b.	n.b.	—	n.b.	—	—	n.b.	n.b.
Summe:	—	—	100,20 +MnO $+P_2O_5$	98,56 +MnO	99,58 +MnO	98,68 +MnO $+P_2O_5$	92,21 +MnO $+H_2O^+$	93,31 +MnO $+H_2O^+$

der Fraktion $< 0{,}632\ \mu$ ⌀ (in Gew.-%)

	Proben-Nr.						
	3358	2942	2944	3353	3350	3348	3346
SiO_2	39,37	45,77	45,03	42,11	47,48	47,28	47,93
TiO_2	0,69	0,85	0,90	0,84	n.b.	0,77	n.b.
Al_2O_3	18,62	18,96	19,52	18,89	20,87	20,44	19,79
Gesamt-Fe als Fe_2O_3	6,43	6,01	8,07	8,35	4,51	4,53	n.b.
Fe_2O_3	5,01	4,62	6,97	n.b.	3,61	3,54	n.b.
FeO	1,28	1,25	0,99	n.b.	0,81	0,89	n.b.
MnO	0,04	0,06	0,10	0,03	n.b.	0,07	n.b.
MgO	19,60	13,02	11,11	13,80	n.b.	11,09	n.b.
CaO	0,40	0,47	0,45	0,45	n.b.	0,41	n.b.
Na_2O	0,33	0,45	0,41	0,31	n.b.	0,39	n.b.
K_2O	3,70	5,20	5,80	5,20	n.b.	6,25	n.b.
H_2O^+	9,95	8,26	7,90	8,42	7,62	8,51	n.b.
P_2O_5	0,48	0,47	0,49	0,47	n.b.	0,30	n.b.
CO_2	—	—	n.b.	n.b.	n.b.	—	n.b.
Summe:	99,61	99,52	99,78	98,87	—	100,04	—

nahmen aus Illit und Chlorit mit geringen Quarzbeimengungen besteht, die quantitative Mineralzusammensetzung aus der chemischen Analyse zu berechnen, um Aussagen über den wahrscheinlichen chemischen Aufbau der einzelnen Minerale machen zu können.

Die Berechnung der quantitativen Mineralzusammensetzung aus der chemischen Analyse erfolgt in dieser Arbeit im Zusammenhang mit der Röntgenuntersuchung. Voraussetzung für die Rechnung ist, die chemische Formel der Minerale zu kennen, die die analysierte Substanz aufbauen, nämlich die Formel des Illits und des Chlorits.

Jasmund[28] gibt für den Illit eine Durchschnittsformel an, die Hendricks und Ross[23] aus 5 Analysen von Grim u. Mitarb.[18] errechnet haben.

der Fraktion $0{,}632\ \mu$—$2\ \mu$ ⌀ (in Gew.-%)

	Proben-Nr.						
	3358	2942	2944	3353	3350	3348	3346
SiO_2	43,12	46,10	45,68	43,72	49,57	47,96	n.b.
TiO_2	n.b.	1,99	2,14	1,87	3,17	2,82	n.b.
Al_2O_3	19,99	20,87	20,34	20,00	20,32	20,76	n.b.
Gesamt-Fe als Fe_2O_3	n.b.	5,38	7,72	7,89	4,01	4,39	n.b.
Fe_2O_3	n.b.	2,81	5,46	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
FeO	2,00	2,31	2,03	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
MnO	n.b.	n.b.	n.b.	0,15	0,02	0,05	n.b.
MgO	n.b.	10,77	9,43	12,78	7,86	9,63	n.b.
CaO	n.b.	0,43	0,44	n.b.	n.b.	0,51	n.b.
Na_2O	n.b.	0,36	0,43	n.b.	0,45	0,63	n.b.
K_2O	n.b.	6,35	6,28	6,43	7,60	7,35	n.b.
H_2O^+	n.b.	7,75	7,70	6,98	7,12	6,31	n.b.
P_2O_5	n.b.	0,29	0,20	0,39	n.b.	n.b.	n.b.
CO_2	n.b.	—	—	—	n.b.	n.b.	n.b.
Summe:	—	100,29 +MnO	100,36 +MnO	100,21 +CaO +Na_2O	100,12 +CaO +P_2O_5	100,41 +P_2O_5	—

Diese Formel wird hier nicht verwendet. Vielmehr wird versucht, nach der Methode von HENDRICKS und ROSS[23] aus den eigenen Analysen eine Illit-Formel zu entwickeln.

Nach dieser Berechnungsart ist das zwar nur möglich, wenn es sich bei den analysierten Proben um reine Substanzen handelt, diese von Verunreinigungen also weitgehendst frei sind.

Diese Forderung ist hier keineswegs erfüllt, denn im Falle der analysierten Proben treten Illit und Chlorit als Komponenten auf, von denen eine im obigen Sinne als „Verunreinigung" angesehen werden muß.

Trotzdem wurde versucht, aus den eigenen chemischen Analysen im Zusammenhang mit den quantitativen Röntgenergebnissen eine Formel für den Illit zu entwickeln. Gewisse Annahmen müssen dabei allerdings gemacht werden.

Tabelle 10. *Bor-, Chrom- und Schwefel-Bestimmungen*

Bor-Gehalt (nach HARDER)			Chrom-Gehalt (nach FRÖHLICH)		
Proben-Nr.	Fraktion μ ⌀	g Bor/t	Proben-Nr.	Fraktion μ ⌀	g Chrom/t
3350	<0,632	1550	3348	0,632—2	117
2941	<0,632	1400	2941	0,632—2	106
2939	<0,632		2933	0,632—2	96
2937	<0,632	1350			
2928	0,632—2	1000			
2930	0,632—2	800			
2932	0,632—2	1200			

Schwefel-Gehalt (nach RICKE)			
Proben-Nr.	Fraktion μ ⌀	g Schwefel/t	
		*	**
3348	0,632—2	510	290
2941	0,632—2	290	10
2937	0,632—2	3370	100

* = Sulfid-Schwefel.
** = Sulfat-Schwefel.

Trägt man in einem Koordinatensystem den Prozentgehalt des röntgenographisch bestimmten Illits (% Illit) gegen den Prozentgehalt an SiO_2 aus der chemischen Analyse (% SiO_2) für die einzelnen Proben auf, so liegen die erhaltenen Punkte mit einiger Annäherung auf einer Geraden (s. Abb. 5). Darin hat der Punkt A die Koordinaten: $y = 100\%$ Illit, $x = 51{,}7\%$ SiO_2. Das gleiche läßt sich für % Illit/% K_2O und für % Chlorit/% MgO durchführen. In Abb. 6 geht Kurve 1 (K 1) durch den Nullpunkt des Koordinatensystems, d. h. alles in der Analyse vorhandene K_2O ist an den Illit gebunden. Punkt B hat die Koordinaten: $y = 100\%$ Illit, $x = 8{,}8\%$ K_2O. Kurve 2 (K 2) schneidet die Abszisse bei 3% MgO. Daraus folgt, daß bei Abwesenheit von Chlorit (0% Chlorit, 100% Illit) noch 3% MgO vorhanden sind. Diese müssen dem Illit zugeschrieben werden.

Unsicherer lassen sich die Gehalte für FeO, Fe_2O_3 und Al_2O_3 abschätzen. Probe 3350, Fraktion $<0{,}632$ μ ⌀, besteht nach der Röntgenanalyse aus 90% Illit und 10% Chlorit. Sie enthält nach der chemischen Analyse 0,8% FeO, 3,6% Fe_2O_3 und 20,9% Al_2O_3 (s. Tabelle 8). Die Farbe dieser Probe ist grau, so daß auf Abwesenheit von Hämatit geschlossen werden kann, welcher in kleinsten Mengen schon eine Rotfärbung hervorruft. Die Schätzung, daß bei 100% Illit etwa 3,5—4% Fe_2O_3, etwa 0,5% FeO und 22—24% Al_2O_3 in der Substanz vorhanden sind, darf daher wohl als richtig angesehen werden. Literaturangaben[28] über die chemische Zusammensetzung von Illiten zeigen ähnliche Werte. Bei einem K_2O-Gehalt von 9% für Illit ist der Al_2O_3-Wert allerdings niedrig. Der Grund für dieses Defizit an Al_2O_3 ist noch nicht bekannt und muß durch weitere Untersuchungen aufgeklärt werden.

Für den Illit des Grauen Salztons von „Königshall-Hindenburg" darf man in Annäherung folgende chemische Zusammensetzung annehmen: 52% SiO_2, 24% Al_2O_3, 4% Fe_2O_3, 0,4% FeO, 3% MgO, 9% K_2O, 8% H_2O.

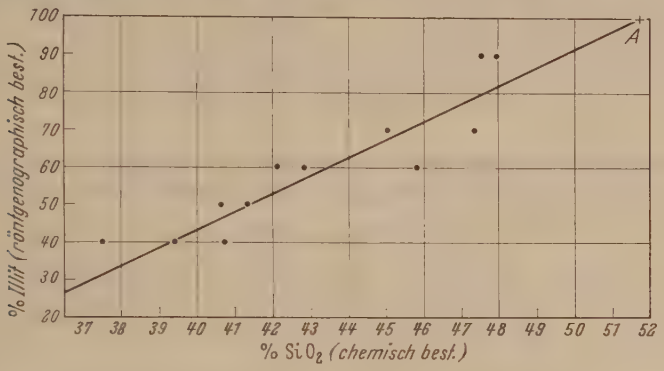

Abb. 5. Illit-Anteil und SiO_2-Gehalt; Fraktion $<0{,}632\ \mu$ ⌀

Die allgemeine Formel des Muskovits und muskovitähnlicher Minerale (z. B. Illit) lautet nach Hendricks und Ross[23]:

$$K_x \cdot (Al,\ Fe^{+++},\ Fe^{++},\ Mg,\ usw.)_\Sigma \cdot (Al,\ Si)_4 \cdot O_{10} \cdot (OH)_2.$$

Darin ist $x =$ Anzahl der Zwischenschichtionen, im Höchstfall $= 1$. Σ ist die Zahl der Ionen in der Oktaederposition. Bei trioktaedrischen Mineralen kann

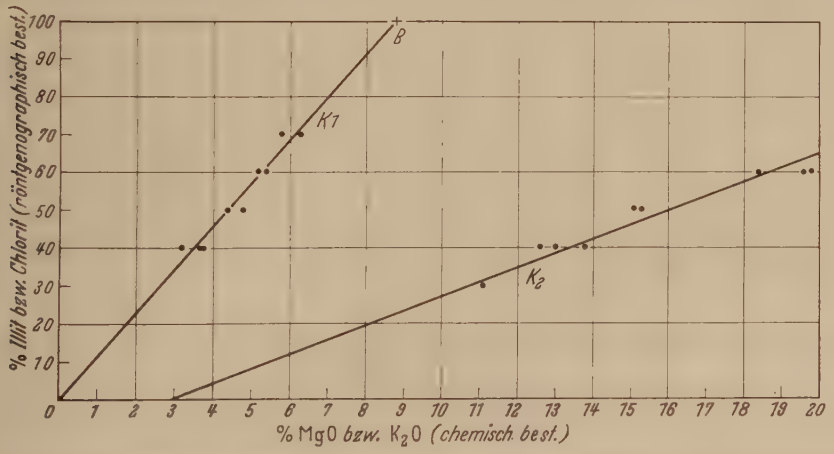

Abb. 6. Illit-Anteil und K_2O-Gehalt (K1), Chlorit-Anteil und MgO-Gehalt (K2); Fraktion $<0{,}632\ \mu$ ⌀

Σ maximal $= 3$ sein, z.B. Phlogopit, wo $^3/_3$ der Oktaederplätze mit zweiwertigen Ionen besetzt sind. Beim Muskovit, einem dioktaedrischen Mineral, sind nur $^2/_3$ der Oktaederplätze besetzt. In diesem Grenzfall ist $\Sigma = 2$.

Die Berechnung erfolgt mit Hilfe der Atomquotienten der in der Analyse gefundenen Prozentgehalte der einzelnen Elemente. Dabei ist immer zu beachten, daß sich die Kationenvalenzen und die Anionenvalenzen das Gleichgewicht halten.

Die Methode von HENDRICKS und ROSS vernachlässigt bei der Berechnung das in der Analyse gefundene H_2O^+. Die Formel wird aufgestellt auf der Basis von 10 Sauerstoffionen und zwei OH-Ionen für eine Formeleinheit. Alles gefundene H_2O^+ wird dabei von den OH-Ionen abgeleitet oder kann zum Teil als absorbiertes Wasser vorhanden sein[30].

Eine abgewandelte Berechnungsmethode haben BROWN und NORRISH[7] entwickelt. Danach sind 10 Sauerstoffionen + 2 OH-Ionen + H_3O-Ionen in der Formeleinheit vorhanden.

Mit den obigen Werten und mit dem erwähnten Verfahren von HENDRICKS und ROSS wurde folgende chemische Formel für den Illit berechnet:

$$K_{0,78} \cdot (Al_{1,47} \cdot Fe^{+++}_{0,21} \cdot Fe^{++}_{0,02} \cdot Mg_{0,30}) \cdot (Si_{3,54} \cdot Al_{0,46}) \cdot O_{10} \cdot (OH)_2 \ .$$

Eine solche Genauigkeit, wie sie die errechnete Formel durch Angabe der zweiten Dezimale bei den Atomzahlen der einzelnen Elemente in der Formel auszudrücken scheint, ist nicht vorhanden. Auch wird das in den Analysen des Grauen Salztons gefundene Natrium, welches in die Zwischenschicht eintreten kann, bei den Berechnungen nicht berücksichtigt, ebenso nicht das Mangan, das in die Oktaederschicht für Aluminium eintreten kann. Bei Berücksichtigung dieser Elemente würde natürlich eine geringe Veränderung der einzelnen Atomzahlen eintreten. Doch besteht auch nicht die Absicht, eine genauere Formel zu entwickeln, da dies bei der Anzahl der erforderlichen Voraussetzungen nicht möglich ist. Die Formel dürfte aber ausreichend sein für die Berechnung der Mineralzusammensetzung. Zudem gibt sie eine Andeutung der möglichen Zusammensetzung des im Grauen Salzton von „Königshall-Hindenburg" auftretenden Illits.

Um über das ganze Profil des Grauen Salztons hinweg die Menge des in jeder Probe vorhandenen Illits aus der chemischen Analyse mit Hilfe des quantitativen Röntgenbefundes zu errechnen, wurde die Annahme gemacht, daß dieses Mineral in allen Proben die gleiche chemische Zusammensetzung hat.

Die Berechnung der Illit-Verteilung in den einzelnen Proben erfolgt über die Atomquotienten der einzelnen Elemente. Die in Abhängigkeit von den Röntgenbefunden ermittelten Werte aus der chemischen Analyse sind in Tabelle 11 den quantitativen Röntgenergebnissen gegenübergestellt.

Tabelle 11. *Röntgenographisch und chemisch ermittelte Werte für Illit; Fraktion $< 0{,}632\ \mu$ ⌀*

	Proben-Nr.														
	2938	2937	2933	2932	2930	2928	2939	2941	3358	2942	2944	3353	3350	3348	3346
Röntgen-Werte in %	30	40	40	40	50	50	50	60	40	60	70	60	90	70	90
Chemische Werte in %	n.b.	35	41	n.b.	51	n.b.	47	58	40	56	63	56	n.b.	67	n.b.

Das in kleiner Menge auftretende P_2O_5 wird restlos für Apatit verrechnet. In welcher Form das in der Analyse gefundene TiO_2 vorliegt, konnte röntgenographisch nicht ermittelt werden.

Nach Abzug aller für den Illit verbrauchten Ionen von der Gesamtanalyse verbleibt der Rest für die Berechnung der quantitativen Verteilung des Minerals

Chlorit. Wie beim Illit ist es auch hier erforderlich, die chemische Zusammensetzung zu kennen.

Die Mineralgruppe der Chlorite wird unterteilt in die zwei großen Abteilungen der Orthochlorite und Leptochlorite[5].

Die Orthochlorite haben eine Zusammensetzung, die sich zwischen

$$(Mg,\ Fe^{++})_4 \cdot Al_2 \cdot (Si_2 \cdot Al_2) \cdot O_{10} \cdot (OH)_8 \text{ und}$$
$$(Mg,\ Fe^{++})_6 \cdot Si_4 \cdot O_{10} \cdot (OH)_8$$

bewegt, wobei noch kleinere Mengen anderer Elemente eingebaut werden können. Hey[25] bezeichnet alle Chlorite mit weniger als 4% Fe_2O_3 als Orthochlorite.

Die Leptochlorite sind reicher an dreiwertigen Ionen, besonders Fe^{+++}, und passen nicht in das obige Schema der Orthochlorite.

Für die folgenden Berechnungen kann ein Orthochlorit angenommen werden, der nach Brindley und Gillery[5] die Zusammensetzung

$$Mg_{6-x-y} \cdot Fe^{++}_y \cdot Fe^{+++}_z \cdot Al_{x-z} \cdot (Si_{4-x} \cdot Al_x) \cdot O_{10} \cdot (OH)_8$$

hat. Drei veränderliche Größen, nämlich x, y, z, bestimmen die genaue chemische Formel dieses Chlorits. Seine prozentuale Zusammensetzung ergibt sich aus den Prozentzahlen der Gesamtanalyse nach Abzug der Illit-Komponente.

Die Berechnung wird wie beim Illit über die Atomquotienten ausgeführt. Die Differenz in den SiO_2-Werten wird für Quarz, überschüssiges Fe_2O_3 für Hämatit verrechnet.

Alles H_2O^+ wird als von den OH-Ionen abgeleitet angenommen und nicht in die Berechnung aufgenommen. Die Rechnung erfolgt auf der Basis von 10 Sauerstoffionen und 8 OH-Ionen für die Formeleinheit.

Tabelle 12. *Berechnete Zusammensetzung des Chlorits; Fraktion $< 0{,}632\ \mu$ ⌀*

Proben-Nr.	Chemische Formel
3348	$Mg_{4,91} \cdot Fe^{2+}_{0,20} \cdot Fe^{3+}_{0,19} \cdot Al_{0,70} \cdot (Si_{3,11} \cdot Al_{0,89}) \cdot O_{10} \cdot (OH)_8$
2944	$Mg_{4,71} \cdot Fe^{2+}_{0,22} \cdot Fe^{3+}_{0,52} \cdot Al_{0,55} \cdot (Si_{2,93} \cdot Al_{1,07}) \cdot O_{10} \cdot (OH)_8$
2942	$Mg_{4,71} \cdot Fe^{2+}_{0,25} \cdot Fe^{3+}_{0,42}\ Al_{0,62} \cdot (Si_{2,96} \cdot Al_{1,04}) \cdot O_{10} \cdot (OH)_8$
3358	$Mg_{4,80} \cdot Fe^{2+}_{0,17} \cdot Fe^{3+}_{0,26} \cdot Al_{0,77} \cdot (Si_{2,97} \cdot Al_{1,03}) \cdot O_{10} \cdot (OH)_8$
2941	$Mg_{4,66} \cdot Fe^{2+}_{0,26} \cdot Fe^{3+}_{0,43} \cdot Al_{0,64} \cdot (Si_{2,93} \cdot Al_{1,07}) \cdot O_{10} \cdot (OH)_8$
2939	$Mg_{4,53} \cdot Fe^{2+}_{0,23} \cdot Fe^{3+}_{0,33} \cdot Al_{0,91} \cdot (Si_{2,76} \cdot Al_{1,24}) \cdot O_{10} \cdot (OH)_8$
2930	$Mg_{4,66} \cdot Fe^{2+}_{0,19} \cdot Fe^{3+}_{0,23} \cdot Al_{0,92} \cdot (Si_{2,86} \cdot Al_{1,14}) \cdot O_{10} \cdot (OH)_8$
2933	$Mg_{4,65} \cdot Fe^{2+}_{0,16} \cdot Fe^{3+}_{0,27} \cdot Al_{0,91} \cdot (Si_{2,82} \cdot Al_{1,18}) \cdot O_{10} \cdot (OH)_8$
2937	$Mg_{4,52} \cdot Fe^{2+}_{0,17} \cdot Fe^{3+}_{0,24} \cdot Al_{1,06} \cdot (Si_{2,70} \cdot Al_{1,30}) \cdot O_{10} \cdot (OH)_8$

In dieser Weise wurde für die meisten Proben des Profils die Zusammensetzung des Chlorits errechnet (Tabelle 12). Nach einem Diagramm von Hey[25] über die chemische Zusammensetzung der Chlorite variieren die nach obigem

Tabelle 13. *Röntgenographisch und chemisch ermittelte Werte für Chlorit; Fraktion $< 0{,}632\ \mu$ ⌀*

	Proben-Nr.														
	2938	2937	2933	2932	2930	2928	2939	2941	3358	2942	2944	3353	3350	3348	3346
Röntgen-Werte in %	70	60	60	60	50	50	50	40	60	40	30	40	10	30	10
Chemische Werte in %	n.b.	58	52	n.b.	41	n.b.	43	33	54	34	28	n.b.	n.b.	26	n.b.

Verfahren berechneten Chlorite zwischen Sheridanit im Liegenden und Pennin im Hangenden.

Einen Vergleich zwischen den quantitativen Röntgenwerten für Chlorit und der aus der chemischen Analyse errechneten Verteilung zeigt die Tabelle 13, S. 157.

Tabelle 14. *Aus der chemischen Analyse berechneter Mineralbestand; Fraktion $< 0{,}632\ \mu$ ⌀* (in Gew.-%)

	Proben-Nr.														
	2938	2937	2933	2932	2930	2928	2939	2941	3358	2942	2944	3353	3350	3348	3346
Illit	n.b.	35	41	n.b.	51	n.b.	47	58	40	56	63	56	n.b.	67	n.b.
Chlorit . . .	n.b.	58	52	n.b.	41	n.b.	43	33	54	34	28	n.b.	n.b.	26	n.b.
Quarz . . .	n.b.	2	3	n.b.	1	n.b.	3	2	1	5	3	n.b.	n.b.	3	n.b.
Hämatit . .	n.b.	+	+	n.b.	n.b.	n.b.	+	2	1	+	2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Apatit . . .	n.b.	1	1	n.b.	1	n.b.	1	1	1	1	1	1	n.b.	1	n.b.
Summe:	—	96	97	—	94	—	94	96	97	96	97	—	—	97	—

+ = weniger als 0,5% vorhanden.

Die Tabelle 14 zeigt den gesamten aus der chemischen Analyse berechneten Mineralbestand für die Fraktion $< 0{,}632\ \mu$ ⌀. Die angegebenen Werte sind auf ganze Zahlen abgerundet.

Mikroskopische Untersuchung

In Ergänzung zu den eingehenden röntgenographischen und chemischen Untersuchungen der feinsten Fraktionen des Grauen Salztons von „Königshall-Hindenburg" erfolgt die Bestimmung des Mineralbestandes der gröberen Korngrößenklassen. Diese wurde für die Fraktionen $6{,}32\ \mu$—$200\ \mu$ ⌀ in Streupräparaten mit dem Polarisationsmikroskop durchgeführt. Der Mineralbestand der Fraktionen $> 200\ \mu$ ⌀ ist mikroskopisch nicht zu ermitteln, da in diesen Korngrößengruppen nur Aggregate vorliegen. Es muß hierbei auf die röntgenographische Untersuchung (s. S. 148) verwiesen werden.

Den qualitativen und quantitativen Mineralbestand der Fraktionen $6{,}32\ \mu$ bis $63{,}2\ \mu$ ⌀ gibt die Tabelle 15 an.

Der *Quarz* kommt hauptsächlich in gerundeten Körnern (detritisch) vor. Daneben wurden, besonders im anhydritischen Liegendteil, idiomorphe Quarze beobachtet. Die Kristalle enthalten in beiden Fällen meistens zahlreiche Einschlüsse. In den detritischen Quarzen sind Flüssigkeitseinschlüsse häufig, welche perlschnurartig die Kristalle durchziehen. Um was für Material es sich bei diesen Fremdkörpern handelt, konnte wegen der geringen Teilchengröße nicht ermittelt werden. Das Vorhandensein von Rutilnadeln in abgerundeten Quarzen ist wahrscheinlich, konnte aber nicht mit letzter Sicherheit nachgewiesen werden.

Der Quotient, idiomorphe Quarzkörner/nichtidiomorphe Quarzkörner, wird vom Liegenden zum Hangenden kleiner. Nach einer groben Auszählung haben in der Probe 2938 20% aller Quarzkörner idiomorphe Ausbildung, Probe 2933 10%, Probe 2930 5%. In den darüber folgenden Proben sind nur noch vereinzelt idiomorphe Quarze zu finden, während die Proben 3350, 3348 und 3346 davon frei sind. Diese idiomorphen Kristalle zeigen hexagonale Tracht, solche in rhomboedrischer Tracht wurden nicht beobachtet. Es ist zu sehen, daß in

Tabelle 15. *Mikroskopisch bestimmter quantitativer Mineralbestand der Fraktionen 6,32 μ bis 63,2 μ ⌀* (in Korn-%)

	Proben-Nr.														
	2938	2937	2933	2932	2930	2928	2939	2941	3358	2942	2944	3353	3350	3348	3346
Fraktion 6,32 μ—20 μ ⌀															
Chlorit	13	10	9	8	15	11	7	6	8	10	6	7	6	10	9
Illit	25	20	31	24	19	35	29	21	23	25	21	25	25	28	25
Quarz	51	55	50	55	60	49	54	66	60	57	58	55	56	48	60
Feldspat . . .	5	8	7	6	3	2	5	5	2	1	5	4	5	5	2
Glimmer(B+M)*	3	5	1	5	2	2	1	1	2	2	4	3	5	4	2
Verschiedenes**	3	2	2	2	1	1	4	1	5	5	6	6	3	5	2
Fraktion 20 μ—63,2 μ ⌀															
Chlorit	10	12	12	10	6	8	8	10	5	7	6	6	4	6	5
Illit	10	8	7	12	9	15	12	10	6	11	9	11	15	12	17
Quarz	60	65	69	70	70	66	61	67	77	71	73	74	74	76	66
Feldspat . . .	10	7	5	5	8	3	7	5	2	3	6	2	2	2	5
Glimmer(B+M)*	7	5	5	1	5	4	4	1	1	3	4	2	2	3	3
Verschiedenes**	3	3	2	2	2	4	8	7	9	5	2	5	3	1	4

* Glimmer (B+M) = Biotit und Muskovit.

** Verschiedenes = Aggregate, Pyrit, Turmalin, Magnesit und nicht bestimmbare Minerale.

einigen Fällen auf idiomorphe Quarze kleinere Quarzindividuen aufgewachsen sind. Außerdem wurden zwei Quarze (Probe 3348) gefunden, die unter einem Winkel von annähernd 84° miteinander verwachsen sind (Japaner-Zwillinge). In einigen idiomorphen Stücken befindet sich in der Mitte des Kristalls eine unregelmäßig gefärbte dunkle Masse, um die herum der Kristall gewachsen zu sein scheint. Diese Beobachtungen deuten auf authigene Neubildung hin, obwohl sicher beweisende Einschlüsse (etwa von Anhydrit) nicht aufgefunden werden konnten.

In der Probe 3358 wurden zwei Stücke Chalzedon gefunden. In Proben mir roter Farbe besitzen die detritischen Quarze in einigen Fällen Überzüge von Eisenoxydhäutchen, die an das Vorkommen von Wüstenlack erinnern.

Illit und *Chlorit.* Diese sitzen oft als feine Blättchen auf der Oberfläche der Quarzkörner oder sie ballen sich in kleinen Aggregaten zusammen. Die Bestimmung der optischen Daten ist daher schwierig. Die Lichtbrechung des Illits liegt bei $n_\gamma = 1{,}57$—$1{,}58$, die des Chlorits bei $n_\gamma = 1{,}58$—$1{,}59$. Die Chlorite zeigen einen schwachen Pleochroismus von blaßgrün nach gelbgrün.

Feldspat. Es wurden K-Feldspat und Plagioklas beobachtet, wobei K-Feldspat in geringerer Menge vorhanden ist als Plagioklas. Verzwillingte und idiomorphe Felspäte wurden nicht beobachtet. Der An-Gehalt der Plagioklase beträgt nach der maximalen Lichtbrechung 20—25%. Messungen auf dem Universaldrehtisch waren wegen der geringen Teilchengröße nicht möglich.

Weiterhin wurde *Biotit* beobachtet, Lichtbrechung $n_\gamma = 1{,}60$, und einige *Muskovit*blättchen, Lichtbrechung $n_\gamma = 1{,}57$.

Die mit „Verschiedenes" bezeichneten Anteile setzen sich aus *Aggregaten, Pyrit, Turmalin, Magnesit* und nicht bestimmbaren Mineralen zusammen. Pyrit kommt in der Oktaederform (111), hauptsächlich aber in der Würfelform (100) vor. Daneben treten kleine Pyritaggregate auf mit unregelmäßig geformten Pyritkristallen. Turmalin ist sehr selten (etwa 0,01%). Es wurden nur idio-

morphe Stücke gefunden. In der Probe 2933 und in der Probe 2942 wurden drei bzw. zwei Magnesitkörner beobachtet. Die Kristalle sind tafelig nach (0001) ausgebildet. Dabei dürfte es sich um authigene Neubildungen handeln, wie sie auch von BRAITSCH[3] im Flöz Staßfurt, K 2, und im Älteren Steinsalz, Na 2, der Grube „Königshall-Hindenburg" in größerer Menge gefunden wurden. Es

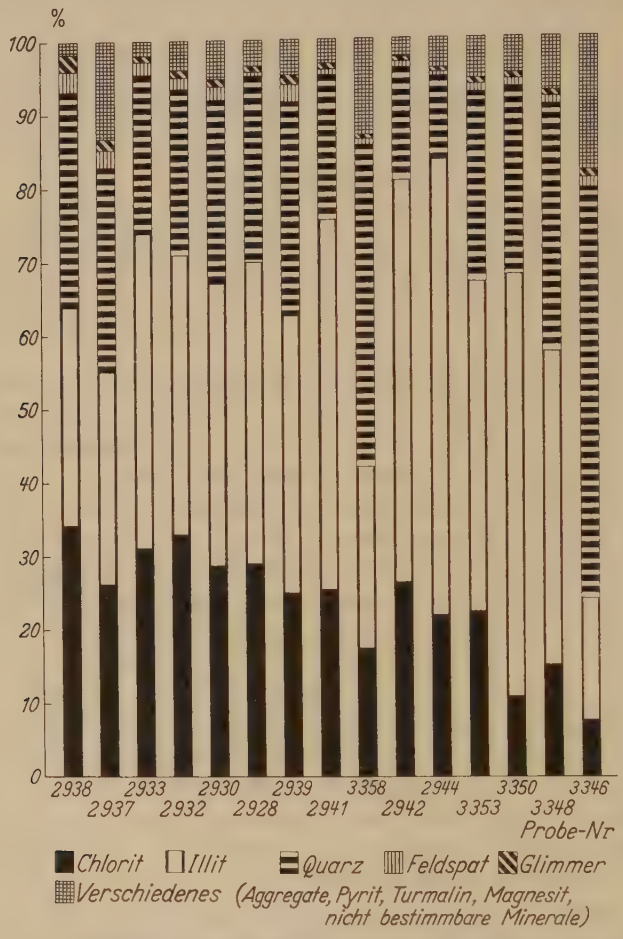

Abb. 7. Mineralbestand des Grauen Salztons von „Königshall-Hindenburg" (bezogen auf den unlöslichen Rückstand)

ist anzunehmen, daß der Magnesit auch noch in weiteren Proben des Grauen Salztons vorhanden ist, wegen der geringen Menge aber nicht gefunden wurde.

Die Suche nach Fossilien blieb ergebnislos. Sie wurden zuerst von ZIMMERMANN[47] aus dem Salzton Norddeutschlands beschrieben und ebenfalls von BRAITSCH[3] im Na 2 und K 2 von „Königshall-Hindenburg" beobachtet (Sporen und andere pflanzliche Reste). Doch ist es möglich, daß hier das gleiche gilt wie für das Auffinden von Magnesit.

Der Mineralbestand der Fraktion 63,2 μ—200 μ ∅ aller Proben besteht in der Hauptmenge aus Quarz (etwa 70—80%), während der restliche Anteil über-

wiegend aus Aggregaten besteht und aus anderen Mineralen, die in kleiner Menge vorhanden sind. Diese sind Pyrit, Glimmer (Muskovit und Biotit), Feldspat, Turmalin (< 0,01 %). Die Ausbildung dieser Minerale in der Korngrößenklasse 63,2 μ—200 μ ∅ ist die gleiche wie in den kleineren Fraktionen.

Den Gesamtmineralbestand des Grauen Salztons von „Königshall-Hindenburg" zeigt die Abb. 7, und zwar wie er aus der Röntgenanalyse und der mikroskopischen Auszählung ermittelt wurde.

Diskussion der Untersuchungsergebnisse

Aus den Beobachtungen und Untersuchungen am Grauen Salzton von „Königshall-Hindenburg", der nicht, wie die Salze der Zechsteinzeit, ausschließlich ein Eindampfungsprodukt des Meerwassers ist, ergeben sich mehrere Fragen.

1. Wie ist der Transport des tonigen und klastischen Gesteinsmaterials erfolgt?

Everding[14] nimmt für den Grauen Salzton eine äolische Bildung an, während Precht[37] ihn als eine normale Meeresablagerung deutet. Gegen eine rein äolische Bildung spricht die starke Abnahme der Mächtigkeit des Grauen Salztons vom Beckenrand des Zechsteinmeeres (Reyershausen) gegen das Beckeninnere hin, welches sich nach Norden erstreckte. Während in der Schachtanlage „Königshall-Hindenburg" der Graue Salzton durchschnittlich 30 m mächtig ist, beträgt die Mächtigkeit desselben Gesteins wenige Kilometer weiter nördlich (Tiefbohrung Sudheim I)[20] nur noch 15 m und sinkt zum Beckeninnern hin bei Volpriehausen auf 9 m ab[21]. Eine äolische Bildung müßte auf eine längere Strecke eine allmählichere Abnahme der Mächtigkeit zeigen. Die Korngrößenanalysen der untersuchten Proben von „Königshall-Hindenburg" zeigen eine Zunahme des feineren Materials vom Liegenden zum Hangenden des T 3, während im obersten Teil des Profils, T 3c, wieder eine deutliche Zunahme der gröberen Bestandteile zu beobachten ist. Dieses steht in Übereinstimmung mit dem Befund von Kühn[31] aus den Korngrößenanalysen von „Hansa-Silberberg" bei Hannover und „Glückauf I" bei Sondershausen, woraus er ableitet, daß es sich beim Salzton um eine fluviatile Bildung handelt.

Aus der starken Abnahme der Mächtigkeit von Süden nach Norden und der Korngrößenverteilung des Grauen Salztons kann geschlossen werden, daß die tonig-klastischen Bestandteile dieses Gesteins fluviatil von Süden in das Zechsteinbecken transportiert wurden, wobei in geringem Maße auch noch äolische Elemente mitgewirkt haben können (Pollen, Quarz mit Wüstenlack). Diese Deutung steht ebenfalls mit der Ansicht von Correns[2] in Übereinstimmung, wonach in humideren Perioden der Zechsteinzeit feinster Gesteinsschlamm in das Zechsteinbecken eingespült worden sein kann.

2. Wie kommt es zur Bildung eines tonig-anhydritischen Gesteins im Liegenden und eines tonig-karbonatischen Gesteins im Hangenden des Grauen Salztons?

Nach Entstehung des Decksteinsalzes, welches sich in der „rezessiven" Phase der Salzabscheidung des Z 2 bildete[34], müssen Nachschübe von frischem Meerwasser erfolgt sein, das seinen Karbonatgehalt bereits abgegeben hatte, und aus welchem dann die Abscheidung von Gips erfolgte, der später zu Anhydrit umgewandelt wurde, und der mit dem eingeschlämmten terrigenen Material

den anhydritischen Liegendteil des Grauen Salztons bildete. Zur Frage der Gips-Anhydrit-Entstehung in diesem Falle ist zu sagen, daß allerdings keine Pseudomorphosen von Anhydrit nach Gips gefunden wurden.

Eine andere Möglichkeit der Entstehung des anhydritischen Liegendteils, T 3a, ist die, daß Calcium mit dem terrigenen Material vom Festland zugeführt wurde, welches mit dem SO_4^{--} der Mutterlaugen unter Gips- oder Anhydritbildung reagierte. Auf diese Weise suchte ERDMANN[13] die Anhydritvorkommen der Zechsteinzeit zu erklären.

Die Frage des Vorkommens von Anhydrit im anhydritischen Liegendteil, T 3a, kann im Rahmen dieser Arbeit nicht ausführlicher behandelt werden. Jedenfalls ist es nicht möglich, allein durch Verdünnung der Mutterlaugen (z. B. durch Regenwasser) die Bildung von Steinsalz und Gips (oder Anhydrit) über dem Kalilager zu erklären.

In der dem anhydritischen Liegendteil folgenden Phase, während der sich der tonig-sandige Teil des Grauen Salztons bildete, kamen dann nur sehr geringe Anhydrit- und Steinsalzmengen zur Ausfällung. Dieses ist nach LOTZE[34] der Tiefpunkt der Salzabscheidung, dem dann die „progressive" Phase des Zechstein 3 folgte, in der zunächst Karbonate entstanden, die zusammen mit noch zugeführtem terrigenen Material den karbonatischen Hangendteil des Grauen Salztons bildeten, worauf alleinige Abscheidung von Ca-Sulfat, Hauptanhydrit, folgte.

3. Was ist über die Entstehung der Tonminerale zu sagen?

Neben der Einschwemmung der tonig-klastischen Bestandteile des Grauen Salztons in das Ablagerungsgebiet ist die Neubildung von Mineralen, besonders von Tonmineralen, zu beachten.

CORRENS, 1939, (zusammengefaßt in [2]) nimmt auf Grund zahlreicher Untersuchungen an Proben der „Meteor-Expedition" und anderer Sedimente an, daß die Tonminerale in normalen Sedimenten zum größten Teil detritischen Ursprungs sind. Veränderungen während der Sedimentation und diagenetische Neubildungen sind dabei nicht ausgeschlossen. Zu dem gleichen Ergebnis kommt 1958 WEAVER[44].

In Salzgesteinen herrschen aber andere Verhältnisse. FÜCHTBAUER und GOLDSCHMIDT[16] konnten feststellen, daß die Mineralkombination in den verschiedenen Facies der Zechsteinformation nicht einheitlich ist, was sie mit diagenetischen und synsedimentären Mineralbildungen erklären. Damit in Übereinstimmung steht die Feststellung der vorliegenden Arbeit über den Wechsel der Chlorit-Zusammensetzung in den untersuchten Proben.

Über die Herkunft des Illits ist folgendes zu sagen: Hydrothermale Versuche an synthetischen und natürlichen Muskoviten von YODER und EUGSTER[46] haben gezeigt, daß sich bei Temperaturen unter 400° C Muskovite vom 1 Md-Typ (einschichtig monoklin ungeordnet) bilden, die dann in den 1 M-Typ (einschichtig monoklin) übergehen, während bei höheren Temperaturen entstandene Muskovite den 2 M-Typ (zweischichtig monoklin) besitzen. Diese verschiedenen Typen können röntgenographisch unterschieden werden. Von den 2 M-Muskoviten leiten sich die 2 M-Illite ab. Dieser Typ ist die häufigste Illit-Modifikation in Tonschiefern und Karbonatgesteinen. Auf Grund der Versuche von YODER und EUGSTER kann geschlossen werden, daß die Illite in Sedimentgesteinen zum größten Teil detritischer Herkunft sind[44].

Eigene Untersuchungen über den Struktur-Typ des Illits in Grauen Salzton von „Königshall-Hindenburg" wurden nicht durchgeführt. Es sei an dieser Stelle darauf verwiesen, daß FÜCHTBAUER und GOLDSCHMIDT[16] an mehreren Proben aus dem norddeutschen Zechstein den Struktur-Typ des Illits röntgenographisch festgestellt haben, wobei sie nur Illite vom 2 M-Typ fanden. Mit einiger Sicherheit darf dieser Befund auch für „Königshall-Hindenburg" gelten. Dieses spricht also für eine detritische Herkunft der großen Illitmengen im T 3.

Für den Chlorit ist dagegen eine Entstehung an Ort und Stelle aus der Lösung als diagenetische Neubildung anzunehmen. Solche Neubildungen beschreibt v. ENGELHARDT[12] (nach Beobachtungen von DRONG) aus einem Valendis-Sandstein vom Erdölfeld Barenburg, NW Hannover. Außerdem konnte BRAITSCH (freundliche mündliche Mitteilung) in ein und demselben Horizont aus Flöz Thüringen des Zechstein 1 (Carnallit-Hartsalz-vertaubtes Salz) sichere Chloritneubildungen nachweisen. Auch FÜCHTBAUER und GOLDSCHMIDT[16] vertreten die Annahme der Chloritneubildung aus der Lösung.

4. Welche Ursachen gibt es für die Variation in der chemischen Zusammensetzung der Chlorite?

Die Änderung der Chloritzusammensetzung, welche röntgenographisch und analytisch festgestellt werden konnte, spricht für eine diagenetische Neubildung des Chlorits, da es nicht wahrscheinlich ist, daß in einem relativ kurzen Ablagerungszeitraum Chlorite verschiedener Zusammensetzung eingeschwemmt worden sind. Die Intensitätsverhältnisse der Röntgenreflexe des Chlorits in den untersuchten Proben deuten auf einen zunehmenden Ersatz von Mg durch Fe^{++} in diesem Mineral vom Hangenden zum Liegenden des Profils hin. Ordnet man die chemisch untersuchten Chlorite mit ihrer errechneten chemischen Formel in das von HEY[25] aufgestellte Diagramm ein, so haben diese Chlorite eine Zusammensetzung, wie sie der des Sheridanits (Liegendes), des Klinochlors und des Pennins (Hangendes) entspricht. Es muß daher angenommen werden, daß sich die chemische Zusammensetzung der Lösung, aus der sich der Chlorit bildete, änderte. Das Vorkommen zahlreicher idiomorpher Quarze im anhydritischen Liegendteil und die Abnahme der Häufigkeit derselben zum Hangenden hin, zeigt, daß die chemische Zusammensetzung der Lösung nicht immer die gleiche gewesen ist. Ob hierbei der ansteigende Karbonatgehalt im karbonatischen Hangendteil für die Änderung der Chlorit-Zusammensetzung verantwortlich ist, kann mit den bisherigen Untersuchungen noch nicht entschieden werden.

Zusammenfassung

Es wurden 15 stratigraphisch aufeinanderfolgende Proben des Grauen Salztons aus dem Kalisalzbergwerk „Königshall-Hindenburg", Reyershausen bei Göttingen, auf ihren Mineralbestand untersucht und ihre chemische Zusammensetzung ermittelt. Die Hauptkomponenten des löslichen Anteils (Salz) sind Anhydrit, Steinsalz und Dolomit, während sich der unlösliche Anteil zum größten Teil aus Illit, Chlorit und Quarz zusammensetzt. Die Korngrößenfraktionen $< 6{,}32\ \mu$ ⌀ des unlöslichen Anteils bestehen fast ausschließlich aus Illit und Chlorit. Die röntgenographische und mikroskopische Untersuchung ergab eine kontinuierliche Zunahme des Illitgehaltes vom Liegenden zum Hangenden des

Profils und eine Abnahme des Chloritgehaltes. Im Zusammenhang mit der Röntgenanalyse konnte der Chemismus dieser beiden Tonminerale bestimmt werden. Es zeigte sich, daß der Chlorit seine Zusammensetzung innerhalb des Profils ändert. Sie entspricht der des Sheridanits (Liegendes), des Klinochlors und des Pennins (Hangendes). Für den Illit muß detritische Herkunft angenommen werden, während der Chlorit sich wahrscheinlich aus der Lösung gebildet hat und damit eine diagenetische Neubildung ist.

Meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. CORRENS, danke ich herzlich für die Überlassung dieser Arbeit, für sein reges und förderndes Interesse an ihrem Verlauf und alles, was ich bei ihm lernen durfte. Ebenso gilt mein Dank Frau Dr. P. SCHNEIDERHÖHN und Herrn Dozent Dr. BRAITSCH für vielerlei freundliches Entgegenkommen und wertvolle Hinweise im Verlaufe dieser Arbeit.

Weiterhin möchte ich es nicht versäumen, der Direktion der Burbach-Kaliwerke, besonders aber Herrn Direktor EBERHARDT, für das stete Entgegenkommen bei den zahlreichen Befahrungen der Grube „Königshall-Hindenburg" zu danken. Ebenso danke ich den Herren Geologen Dr. A. BAAR und Dr. J. HENTSCHEL für ihre Hilfsbereitschaft bei den Probenahmen.

Literatur

[1] D'ANS, J., D. BREDTSCHNEIDER, H. EICK u. H.-E. FREUND: Untersuchungen über die Calciumsulfate. Z. Kali u. Steinsalz **9**, 17—38 (1955). — [2] BARTH, T. F. W., C. W. CORRENS u. P. ESKOLA: Die Entstehung der Gesteine. Berlin: Springer 1939. — [3] BRAITSCH, O.: Mineralparagenesis und Petrologie der Staßfurtsalze in Reyershausen. Habil.-Schr. der Mathem.-Naturw. Fakultät der Universität Göttingen 1959. — [4] BRINDLEY, G. W.: X-ray identifcation and crystal structures of the clay minerals. London 1951. — [5] BRINDLEY, G. W., and F. H. GILLERY: X-ray identification of chlorite species. Amer. Mineralogist **41**, 169—186 (1956). — [6] BRINDLEY, G. W., and R. F. YOUELL: A chemical determination of tetrahedral and octahedral aluminium in a silicate. Acta Crystallogr. **4**, 495—496 (1951). — [7] BROWN, G., and K. NORRISH: Hydrous micas. Mineral. Mag. **29**, 929—932 (1952). — [8] CORRENS, C. W.: Einführung in die Mineralogie. Berlin: Springer 1949. — [9] CORRENS, C. W., u. W. SCHOTT: Vergleichende Untersuchungen über Schlämm- und Aufbereitungsverfahren von Tonen. Kolloid-Z. **61**, 68–80 (1932). — [10] ECHLE, W.: Diss. Göttingen 1960. — [11] ENGELHARDT, W. v.: Über die Möglichkeit der quantitativen Phasenanalyse von Tonen mit Röntgenstrahlen. Z. Kristallogr. **106**, 430—459 (1955). — [12] ENGELHARDT, W. v.: Der Porenraum von Tonen und Sanden und seine Veränderung während der Diagenese. Geol. Fören. Förh. **81**, 353—372 (1959). — [13] ERDMANN, E.: Die Entstehung der Kalisalzlagerstätten. Bericht über den IV. Dtsch. Kalitag. Z. angew. Chem. **21**, H. 32 (1908). — [14] EVERDING, H.: Zur Geologie der Deutschen Zechsteinsalze in Deutschlands Kalibergbau. Festschr. z. X. Allg. Bergmannstage in Eisenach. Berlin 1907. — [15] FRÖHLICH, F.: Die geochemische Verteilung von Chrom in der Erdkruste. Diss. Göttingen 1959. — [16] FÜCHTBAUER, H., u. H. GOLDSCHMIDT: Die Tonminerale der Zechsteinformation. Beitr. Mineral. Petrogr. **6**, 320—345 (1959). — [17] GRIM, R. E.: Clay Mineralogy. New York: McGraw-Hill Book Comp. 1953. — [18] GRIM, R. E., R. H. BRAY and W. F. BRADLEY: The mica in argillaceous sediments. Amer. Mineralogist **22**, 813—829 (1937). — [19] HARDER, H.: Beitrag zur Geochemie des Bors. Nachr. Akad. Wiss. Göttingen II. **6**, 123—183 (1959). — [20] HARTWIG, G.: Schematismus der Salztektonik auf nordhannoverschen Salzaufpressungspfeilern. Z. Kali **23**, 22 (1929). — [21] HARTWIG, G.: Zur Petrographie und Transversalverschieferung der tieferen Stufen der Zechstein-Großfolge 2 im Untergrund von Solling-Elfas und Dün-Hainlaite-Eck. Z. Kali u. Steinsalz **8**, 8–29 (1955). — [22] HEIM, D.: Über die mineralischen, nichtkarbonatischen Bestandteile des Cenoman u. Turon d. mitteldeutschen Kreidemulden u. ihre Verteilung. Heidelb. Beitr. Mineral. u. Petrogr. **5**, 302—330 (1957). — [23] HENDRICKS, S. B., and C. S. ROSS: Chemical composition and genesis of glauconite and celadonite. American Mineralogist. **26**, 683—708 (1941). — [24] HENTSCHEL, J.: Die Faciesunterschiede im Kaliflöz Staßfurt im Kalisalzbergwerk „Königshall-Hindenburg" bei Nörten-Hardenberg. Diss. Mainz 1958. — [25] HEY, M. H.: A new review of the chlorites. Mineral. Mag. **30**, 277—292 (1954). — [26] HILLEBRAND, W. F., G. E. F. LUNDELL, H. A. BRIGHT and J. I. HOFFMANN: Applied inorganic analysis. New York:

John Wiley & Sons 1953. — [27] Jasmund, K.: Texturaufnahmen von blättchenförmigen Mineralen submikroskopischer Größenordnung in einer Debye-Scherrer Kamera. Neues Jb. Mineral., Mh. H. 3, 63—72 (1950). — [28] Jasmund, K.: Die silicatischen Tonminerale. Weinheim: Verlag Chemie 1955. — [29] Johns, W. D., R. E. Grim and W. F. Bradley: Quantitative estimations of clay minerals by diffraction methods. J. Sediment. Petrology **24**, 242—251 (1954). — [30] Kelley, W. P.: Interpretation of chemical analysis of clays. Clays and Clay Techn. Bull. **169**, 92—94 (1955). — [31] Kühn, R.: Über den Mineralgehalt der Salztone. Schriften aus dem Mineralog. Petrogr. Inst. der Universität Kiel. Kiel 1938. — [32] Lippmann, F.: Mineralogische Untersuchungen an einigen niederhessischen Tertiärtonen (Unter besonderer Berücksichtigung der DTA). Heidelb. Beitr. Mineral. u. Petrogr. **3**, 219—252 (1952). — [33] Lippmann, F.: Anwendungsmöglichkeiten der Guinier-Kamera nach v. Wolff bei der röntgenographischen Tonuntersuchung. Heidelb. Beitr. Mineral. u. Petrogr. **4**, 251—254 (1954). — [34] Lotze, F.: Der Gang der Salzabscheidung im innersten Teil des Deutschen Zechsteinbeckens. Z. Kali **28**, 237—239 (1934). — [35] Marcus, E., u. W. Biltz: Über die chemische Zusammensetzung der Staßfurter Salztone. Z. anorg. Chem. **68**, 91—101 (1910). — [36] Marcus, E., u. W. Biltz: Über die chemische Zusammensetzung des Roten Salztones. Z. anorg. Chem. **77**, 119—123 (1912). — [37] Precht, H.: Über Vorkommen und Verarbeitung von Salzton aus dem Staßfurter Lager. Chem.-Ztg. **6**, 197 (1882). — [38] Reidemeister, C.: Über Salztone und Plattendolomite im Bereiche der norddeutschen Kalisalzlagerstätten. Diss. Kiel 1911. — [39] Richter-Bernburg, G.: Stratigraphische Gliederung des Deutschen Zechsteins. Z. dtsch. geol. Ges. **105**, 843—854 u. Tafel (1953). — [40] Ricke, W.: Diss. Göttingen 1960. — [41] Shapiro, L., and W. W. Brannock: Rapid analysis of silicate rocks. Geological Survey Bull. 1036-C. Revised from Circular 165. Washington 1956. — [42] Stephen, I., and D. M. C. McEwan: Clay Minerals Bull. **1**, 157—161 (1951). — [43] Weaver, C. E.: Geologic interpretation of argillaceous sediment. Bull. Amer. Ass. Petrol. Geologists **42**, 254—271 (1958). — [44] Weaver, C. E.: A discussion on the origin of clay minerals in sedimentary rocks. Proc. of Fifth Nat. Conf. on Clays and Clay Minerals, 159—173, 1958. — [45] Wolff, T. v.: Beschreibung einer leicht justierbaren Guinier-Kamera für alle Winkeleinstellungen. Heidelb. Beitr. Mineral. Petrogr. **4**, 243—250 (1954). — [46] Yoder, H. S., and H. P. Eugster: Synthetic and natural muscovites. Geochim. Cosmochim. Acta **8**, 225—280 (1955). — [47] Zimmermann, E.: Marine Versteinerungen aus der Kaliregion des Norddeutschen Zechsteins. Z. dtsch. geol. Ges. 47 (1904).

Dr. Hans Niemann,
Sedimentpetrographisches Institut der Universität Göttingen, Lotzestr. 13

Druck der Universitätsdruckerei H. Stürtz AG., Würzburg

Lebenslauf

Am 19. Mai 1927 wurde ich, Hans Adolf Friedrich Niemann, als dritter Sohn des Ingenieurs Heinrich Niemann und seiner 1944 bei einem Bombenangriff gefallenen Ehefrau Frieda, geb. Battermann, in Einswarden i. O., Kreis Wesermarsch, geboren. Ich bin deutscher Staatsangehöriger.

Von 1934 - 1938 besuchte ich die Grundschule und von 1938 - 1944 die Kapitän-König-Schule (Oberschule für Jungen) in Bremen. Ab Juli 1943 war ich gleichzeitig zum Kriegsdienst als Luftwaffenhelfer eingesetzt. Im September 1944 erfolgte meine Einberufung zum RAD und im November zum Wehrdienst. Zwei Monate nach Kriegsschluß wurde ich aus englischer Kriegsgefangenschaft entlassen.

Wegen der Zerstörung meiner elterlichen Wohnung war ich nach meiner Entlassung von der Wehrmacht gezwungen, mir außerhalb Bremens Unterkunft und Beschäftigung zu suchen. Ich arbeitete daher ein Jahr in einem landwirtschaftlichen Betrieb in Waddens i. O. Ab August 1946 besuchte ich dann die Staatliche Oberschule in Nordenham, an der ich im Frühjahr 1949 die Reifeprüfung ablegte.

Um mir eine finanzielle Grundlage für das beabsichtigte Studium zu schaffen, arbeitete ich nach der Reifeprüfung zunächst als Bergmann. Im November 1950 immatrikulierte ich mich an der Mathematisch - Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Göttingen (Geographie). 1952 wechselte ich die Universität und begann im S. S. 1952 das Studium der Mineralogie in Heidelberg, das ich im W. S. 1953/54 an der Universität Göttingen fortsetzte. Im Juli 1955 machte ich mein mineralogisches Zwischenexamen.

Während der Semesterferien arbeitete ich in verschiedenen Industriebetrieben als Bergmann, Hütten- und Gießereiarbeiter und als Maschinenreiniger.

Meine akademischen Lehrer waren die Herren Professoren Dr. Bederke, Dr. Correns, Dr. Glemser, Dr. Goubeau, Dr. Hilsch, Dr. Jasmund, Dr. Koritnig, Dr. Pohl, Dr. Ramdohr, Dr. Rüger, Dr. Winkler, Dr. Zemann.

Hans Niemann